

---

APPAREILS  
ET  
EXPÉRIENCES CARDIOGRAPHIQUES  
DÉMONSTRATION NOUVELLE  
DU MÉCANISME DES MOUVEMENTS DU CŒUR PAR L'EMPLOI DES INSTRUMENTS ENREGISTREURS  
À INDICATIONS CONTINUES

Par MM. A. CHAUVEAU et MAREY (1)

AVEC VINGT-TROIS FIGURES INTERCALÉES DANS LE TEXTE.

---

En 1855, l'un des auteurs du présent travail faisait connaître une série d'expériences relatives à la physiologie du cœur.

Ces expériences, destinées à démontrer le mécanisme des mouvements cardiaques, étudiés directement *de visu et tactu*, sur l'organe mis à découvert, furent primitivement instituées pour contrôler les résultats constatés par les expérimentateurs anglais ou américains, sur des mammifères paralysés et soumis à la respiration artificielle (2).

Répétées très-souvent, en présence d'un nombreux public de médecins et de physiologistes, elles parurent démonstratives à la plupart

(1) Voyez sur ce mémoire le rapport de M. Gavarret (*Bulletin de l'Académie de médecine*, t. XXVIII, p. 602).

(2) C'est aussi sur des mammifères paralysés et soumis à la respiration artificielle que les expériences dont il est question ont été pratiquées, mais dans des conditions qui en rendent les résultats plus nets, plus constants, plus faciles à observer. Ces conditions favorables résident dans le choix des sujets et le procédé employé pour déterminer la paralysie.

Le cheval adulte a été choisi pour sujet d'expérience, parce qu'il présente un aplatissement latéral des parois thoraciques, grâce auquel le cœur de l'animal couché sur le côté n'éprouve pas de déplacement sensible après l'ouverture de la poitrine, mais surtout parce que le cœur de cet animal est extrêmement volumineux, qu'il bat lentement, et qu'il se trouve ainsi dans les conditions qui conviennent le mieux à l'observation des phénomènes de la circulation cardiaque. — Pour paralyser les animaux, au lieu de les assommer ou de les empoisonner par le curare, on pratiqua la section transverse de la moelle épinière, au niveau de l'espace altoïdo-occipital. La paralysie obtenue de cette manière est toujours absolument complète, et n'exerce aucune influence fâcheuse sur le mode de manifestation des battements du cœur. L'organe, sur les animaux ainsi préparés, continue à fonctionner avec la plus grande régularité pendant toute une journée. Il se prête admirablement à toutes les explorations nécessaires pour déter-



des assistants. Mais ceux-ci ne furent pas unanimes dans leur opinion. Des dissidences graves se produisirent, non-seulement sur l'interprétation des mouvements qui s'accomplissaient sous les yeux ou sous la main des spectateurs, mais encore sur la nature, les caractères, l'ordre de succession de ces mouvements. Les sens, plus ou moins prévenus des observateurs, se trouvaient donc un peu en défaut. C'est de la nécessité de parer à cet inconvénient qu'est née l'idée de ce travail.

En instituant ces nouvelles recherches sur les mouvements du cœur,

miner : 1° le mécanisme de ses mouvements ; 2° la cause des bruits et de la pulsation précordiale, par lesquels ces mouvements se traduisent au dehors à l'état physiologique.

Voici le résumé des principaux faits observés :

*Mécanisme des mouvements.* — a. Il existe un moment, dans chaque révolution du cœur, où l'organe se trouve dans un état de repos absolu ou de *pause*, pendant lequel le tissu musculaire du cœur est mou, flasque, extrêmement facile à déprimer avec le doigt. Le cœur s'affaisse alors facilement sous son propre poids, et se moule sur les parties sous-jacentes. Dans la poitrine fermée, grâce à cette flaccidité, il prend la forme de la cavité de réception que forment autour de lui le poumon, le sternum et les parois costales, et il se montre sensiblement aplati d'un côté à l'autre, comme cette cavité elle-même.

Le doigt, introduit à l'intérieur de l'organe, constate que les valvules auriculo-ventriculaires sont alors abaissées. C'est à ce moment, appelé période de *diastole générale*, que les ventricules se remplissent par l'afflux du sang que les veines versent dans les oreillettes.

b. La *systole auriculaire* qui vient après cet état diastolique général est brusque et fugitive. On la distingue cependant toujours nettement de la contraction des ventricules qui lui succède. Elle ne diminue que d'une quantité très-minime la cavité de l'oreillette. La pression très-faible qu'elle exerce sur le sang fait aussi bien refluer ce fluide dans les veines qu'elle le pousse dans la cavité ventriculaire.

c. La *systole des ventricules* suit immédiatement celle des oreillettes. Quatre ou cinq fois plus longue que cette dernière, elle dure environ une fois moins que la période de diastole générale.

Lorsque l'état systolique se développe dans la masse ventriculaire, les diamètres longitudinal et antéro-postérieur du cœur diminuent sensiblement, tandis que le diamètre latéral augmente. Cette masse tend à prendre une forme globuleuse.

Sa base s'abaisse manifestement, surtout en avant. Mais la pointe reste à peu près au même niveau ; elle se borne à décrire un léger mouvement spiroïde, qui porte à droite la face antérieure de l'organe.

La consistance du cœur augmente instantanément quand débute cet état systolique, et le doigt qui déprime la substance ventriculaire se sent énergiquement repoussé.

Des stries se manifestent alors dans le sens des fibres superficielles du cœur, dès le début du mouvement, et se prononcent de plus en plus : preuve qu'à ce moment la masse ventriculaire diminue graduellement de volume.

Tels sont les caractères extérieurs de ce mouvement systolaire.

A l'intérieur des cavités, on constate les faits suivants :

Au début de la contraction ventriculaire, les valvules auriculo-ventriculaires se relèvent,



nous sommes partis d'un double principe. D'une part, nous avons cru que l'intervention directe de nos sens devait être éliminée, puisqu'elle n'a pas suffi pour fixer l'opinion générale sur la succession et les caractères véritables de ces mouvements; d'autre part, nous avons recouru avec confiance aux procédés et aux instruments employés en physique, bien convaincus qu'il n'est pas de mouvement, si rapide et si com-

s'affrontent exactement par leurs bords, et sont refoulées légèrement dans la cavité de l'oreillette; elles se tendent au point de devenir convexes par en haut, de manière à former un dôme multiconcave au-dessus de la cavité ventriculaire.

Il reste toujours sous ce dôme une grande quantité de sang.

L'orifice auriculo-ventriculaire se rétrécit à peine.

L'écoulement du sang par les orifices artériels produit réellement l'effet de recul signalé par Gutbrod. C'est à cet effet qu'est dû l'abaissement de la base des ventricules décrit plus haut. La pointe ne se déplace pas sensiblement dans le sens de ce recul hydrodynamique, parce que le déplacement que la théorie indique est neutralisé par le raccourcissement du grand diamètre du cœur.

Au moment où cesse l'état systolique du ventricule, les valvules auriculo-ventriculaires s'abaissent immédiatement, et les orifices qu'elles fermaient deviennent tout de suite complètement béants. L'occlusion des orifices artériels, qui a lieu en même temps, s'exécute par l'adossement, face à face, des valvules sigmoïdes, dans une grande étendue de la partie qui avoisine leur bord libre.

A ce même moment, la base de la masse ventriculaire remonte, et le cœur reprend sa forme et sa flaccidité première.

*Bruits.* — La systole de l'oreillette est aphone.

Le premier bruit s'entend au début de la systole ventriculaire, quand les valvules mitrale et tricuspide ferment les orifices qu'elles entourent; le deuxième, au début de la diastole ventriculaire, lorsque les valvules sigmoïdes s'abaissent pour effectuer l'occlusion des orifices artériels.

En empêchant la tension des valvules sigmoïdes et auriculo-ventriculaires, on empêche les deux bruits de se produire. Ces bruits sont donc des claquements valvulaires.

L'application des doigts à l'extérieur de l'organe, au pourtour des orifices, permet de constater très-nettement ces claquements. Les bruits se perçoivent alors avec le bout des doigts au lieu d'être entendus avec l'oreille.

*Choc, pulsation cardiaque.* — La pulsation cardiaque est exactement isochrone à la systole ventriculaire.

Elle se fait sentir chez tous les animaux au niveau des points où la masse ventriculaire touche directement les parois costales.

Le cœur n'éprouve aucun mouvement de locomotion général ou partiel déterminant un déplacement capable d'expliquer ce phénomène.

Elle persiste dans toute son intensité après la suppression de la contraction auriculaire et de l'action de recul.

C'est un phénomène du même ordre que la pulsation artérielle.

Il est dû à l'augmentation brusque de pression et à la rigidité que la systole développe dans la masse ventriculaire. La pulsation ainsi formée se perçoit à l'extérieur de la poitrine, grâce



plexe qu'on l'imagine, qui ne puisse être déterminé d'une manière précise à l'aide d'appareils convenables.

Plusieurs tentatives avaient déjà été faites en ce sens. En Allemagne, la cardio-puncture avait permis d'enregistrer les mouvements de locomotion que le cœur exécute à chacune de ses révolutions. En Amérique, le docteur Upham (de Boston) (1) essaya, par une sorte de télégraphie électrique, de rendre les intervalles qui séparent les systoles de l'oreillette de celles du ventricule plus faciles à saisir qu'ils ne le sont à la vue dans les expériences ordinaires. Pour cela, il fit servir les mouvements qu'il croyait être les contractions de l'oreillette et du ventricule à fermer chacun un courant électrique qui mettait en jeu un timbre d'une tonalité particulière. On pouvait ainsi entendre successivement et distinguer entre eux les sons des deux timbres, ce qui donnait une idée

à l'accroissement systolique du diamètre latéral du cœur (du diamètre antéro-postérieur chez l'homme) : elle vient ainsi au-devant de la main appuyée sur la région cardiaque.

Parmi les faits exposés ci-dessus, plusieurs se trouvaient admis et vulgarisés dans la science avant nos expériences ; mais d'autres étaient niés ou discutés, quelques-uns même entièrement inconnus. Au nombre de ces derniers, nous citerons : l'abaissement de la base du cœur, avec immobilité de la pointe, dans l'état systolique, abaissement par lequel se traduit le recul hydrodynamique ; les changements de forme de l'organe, considérés dans leurs rapports avec la production de la pulsation cardiaque ; le redressement en dôme des valvules auriculo-ventriculaires, ainsi que leur tension, démontré sur l'animal vivant (Lyon, 1855) ; la perception tactile des chocs valvulaires, causes des bruits, au pourtour des orifices, etc.

Nous croyons devoir donner ici l'indication des mémoires où se trouve l'exposition détaillée de tous ces faits :

1° *Gazette médicale de Lyon*, 1855 : *Physiologie du cœur*. Bulletin par M. Barrier.

2° *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1855, t. XLI, p. 423 : *Nouvelles recherches expérimentales sur les mouvements et les bruits normaux du cœur, envisagés au point de vue de la physiologie médicale*, par A. Chauveau et J. Faivre. (Extrait.)

3° *Gazette médicale de Paris*, 1856 : Le même. *Mémoire complet* (tiré à part en une brochure in-8° de 44 pages).

4° *Gazette médicale de Lyon*, 1856, p. 4 : *Expériences sur la physiologie du cœur faites à l'École impériale vétérinaire de Lyon*, par MM. A. Chauveau et J. Faivre. Rapport lu par M. Foltz à la Société de médecine.

5° *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, 1857, t. XLV, p. 371. — *Sur la théorie des pulsations du cœur*.

6° *Journal de la physiologie de l'homme et des animaux*, 1860, t. III, p. 165 : *Sur le jeu des valvules auriculo-ventriculaires*.

(1) Voyez, pour le récit de ces expériences et la représentation des instruments, le *Recueil des observations faites sur Eug. Groux, atteint de fissure congénitale du sternum*, Hamburg, 1859.



assez exacte des intervalles qui séparent les mouvements de l'oreillette de ceux du ventricule.

Mais avec une instrumentation plus perfectionnée on pouvait faire plus; c'est peu, en effet, que de signaler le début d'un mouvement lorsqu'on ignore sa forme, c'est-à-dire les variations qu'il subit pendant toute sa durée. Or, c'est ce que nous avons cherché à faire en appliquant à l'étude des mouvements du cœur, les appareils à indication continue. Le succès de nos expériences fut assez complet pour que l'Académie des sciences, à laquelle nos travaux furent soumis, déclarât, par l'organe de son rapporteur (1), que le doute ne lui paraissait plus possible. C'est le détail complet de ces expériences et de celles que nous avons faites depuis, à l'aide des mêmes appareils, sur différents points relatifs à la circulation cardiaque, que nous avons l'honneur de soumettre au jugement de l'Académie de médecine.

## CHAPITRE PREMIER.

### Appareils.

Principes sur lesquels repose la construction de nos instruments. — De l'amplification des mouvements au moyen d'un levier; emploi de cette méthode en physique et en physiologie. — Détermination graphique de la forme d'un mouvement. — Appareils enregistreurs. — Moyen de transmettre à distance le mouvement [qu'on veut étudier à l'appareil qui l'enregistre; procédé de Upham; procédé de Buisson. Description du cardiographe; ses parties fondamentales. — Appareil enregistreur. — Appareil sphymographique.

Ce qui fait qu'un mouvement nous échappe, c'est qu'il est trop faible ou trop rapide; dans la physiologie du cœur, ces deux difficultés se trouvent réunies. Il y a donc deux conditions très-importantes que doivent remplir les appareils destinés à déterminer les mouvements du cœur. Premièrement, ces appareils devront amplifier les mouvements, de telle sorte qu'ils soient toujours perceptibles malgré leur faiblesse;

(1) *Rapport de M. Milne Edwards, au nom d'une commission, sur deux mémoires de MM. Chauveau et Marey, relatifs à l'étude des mouvements du cœur à l'aide d'un appareil enregistreur (Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, t. LIV, séance du 28 avril 1862).* — Plus récemment, l'Institut nous a donné une nouvelle marque d'approbation en nous accordant un prix de physiologie expérimentale.



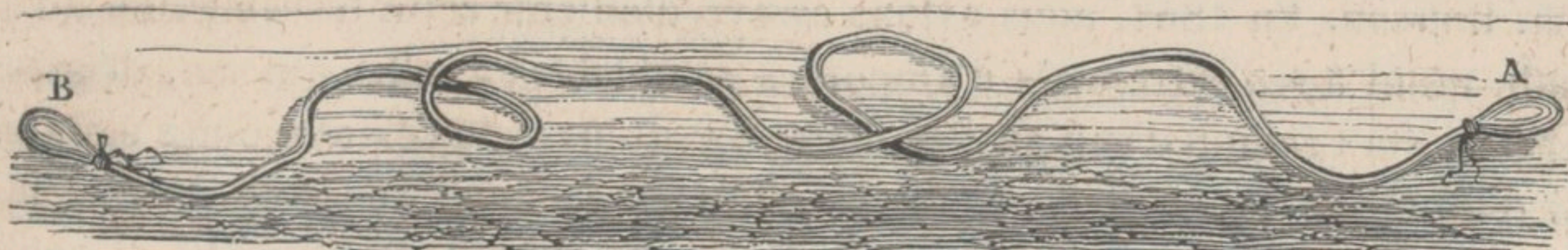
en second lieu, ils devront rendre appréciable la durée des mouvements, quelque courte qu'elle puisse être.

Or, pour amplifier un mouvement, la physique possède un moyen excellent; c'est l'emploi du levier. Ce moyen est employé en physiologie depuis longtemps. Bourgognoux l'employa pour constater les mouvements du cerveau dans la cavité crânienne; King se servit également d'un levier pour rendre apparents les battements si faibles du poulx veineux des extrémités, etc.

Quant au second problème, consistant à enregistrer le mouvement de façon à donner une mesure exacte de la durée, il a été également résolu en physique. Les appareils enregistreurs à indications continues remplissent ce but d'une manière parfaite. Veut-on connaître les mouvements qu'exécute l'extrémité du levier? On arme d'une plume cette extrémité, et l'on dispose près d'elle une plaque recouverte de papier. Cette plaque est mise en mouvement d'une manière uniforme. Il s'ensuit qu'en même temps que le levier écrit sur la plaque la trace de ses mouvements, cette plaque, de son côté, indique la durée des mouvements du levier, d'après le chemin qu'elle a parcouru entre chacun d'eux. Un cylindre recouvert de papier et tournant d'une manière uniforme remplira les mêmes fonctions que la plaque (1).

Pour transmettre un mouvement quelconque au levier cardiogra-

Fig. 1.



phique, nous employons un appareil très-simple, qui pourrait se réduire à deux ampoules élastiques B et A (fig. 1), situées aux deux extrémités d'un tube long et flexible; le tout étant clos et plein d'air. Voici comment fonctionne cet appareil de transmission.

(1) Rappelons que l'application des appareils enregistreurs aux études physiologiques a été faite pour la première fois en Allemagne. L'idée d'associer l'emploi du levier à celui de la méthode graphique à indications continues appartient à Karl Vierordt (de Tübingen): il construisit ainsi son *sphygmographe* destiné à enregistrer les pulsations artérielles. Nous glissons sur tous ces détails qui ont été exposés ailleurs par l'un de nous.



Si l'on presse entre les doigts l'ampoule B, on expulse à travers le tube une partie de l'air qu'elle renfermait, et cet air va distendre l'ampoule A qui augmente sensiblement de volume. Que cette ampoule A soit placée sous le levier d'un sphygmographe et près du centre de rotation de ce levier, chaque changement de volume de l'ampoule produira une ascension du levier. Si l'on cesse la pression sur l'ampoule B, le levier retombera ; si l'on maintient cette pression pendant un temps plus ou moins long, le levier gardera plus ou moins longtemps la position élevée qu'il aura prise. Enfin, plus la pression exercée sur l'ampoule B sera forte et brusque, plus le levier montera haut, et plus cette ascension sera rapide (1).

Tel est le principe d'après lequel s'opère la transmission du mouvement dans notre appareil.

En résumé, pour enregistrer un mouvement, l'appareil doit présenter une série d'organes, à savoir : deux ampoules conjuguées, un levier muni d'une plume et un papier mis en mouvement.

Si donc on veut enregistrer simultanément plusieurs des mouvements qui se passent dans le cœur, il faut pour chacun d'eux deux ampoules et un levier ; seulement le même papier reçoit le tracé de tous les leviers à la fois. Ces leviers sont disposés horizontalement les uns au-dessus des autres, de façon que les plumes qui les terminent

(1) L'idée de transmettre un mouvement à distance au moyen de tubes pleins d'air appartient à M. Ch. Buisson. En 1858, nous avons essayé d'obtenir cette transmission à l'aide d'un tube de plomb, muni à ses extrémités d'ampoules semblables à celles qui sont décrites fig. 1 ; mais cet appareil était rempli d'eau au lieu d'air. Lorsqu'une de ces ampoules était introduite dans le cœur d'un cheval par la veine jugulaire, il fallait qu'une force considérable la comprimât pour que la colonne liquide contenue dans le tube entrât en mouvement et que le levier enregistreur fût soulevé. Le ventricule seul pouvait produire cet effet, tandis que l'action de l'oreillette ne donnait lieu à aucun mouvement du levier qui lui correspondait. En 1860, M. Buisson imagina un moyen de transmettre au sphygmographe, que l'un de nous venait de présenter à l'Académie des sciences, les battements des différentes artères sur lesquelles cet instrument ne serait pas applicable. A cet effet, ce physiologiste se servait de deux entonnoirs conjugués, dont un tube de caoutchouc réunissait les deux becs, comme on réunit les ampoules dans l'appareil décrit fig. 1. Le pavillon de chacun de ces entonnoirs était recouvert d'une membrane élastique, comme cela se voit dans un appareil connu sous le nom de *sphygmomètre* de Hérisson. Il résultait de cette disposition que si l'on exerçait une pression sur la membrane de l'un des entonnoirs, la membrane de l'autre se soulevait par la compression de l'air contenu dans l'appareil. M. Buisson adaptait à cette seconde membrane un disque léger surmonté d'une arête qui soulevait le levier d'un sphygmographe. Dès lors, si l'on ap-



soient toutes sur la même verticale. Il en résulte que les tracés de tous ces leviers forment sur le papier des lignes horizontalement superposées comme celles de l'écriture ordinaire.

Reste à indiquer comment le mouvement qu'on veut étudier est imprimé à l'une des ampoules conjuguées, pour être transmis, amplifié et enregistré définitivement.

Si nous appelons ampoule *initiale* celle qui reçoit la première impression du mouvement, et ampoule *terminale*, celle qui le transmet directement au levier, c'est le rôle de l'ampoule *initiale* que nous devons décrire (1). Cette ampoule est placée, suivant le cas, dans des positions différentes. Introduite dans une oreillette, elle subit des alternatives de pression et de relâchement suivant que cette oreillette est en systole ou en diastole. Une ampoule enfoncée dans un ventricule signalera de même tous les changements de pression qui se passent à l'intérieur de celui-ci. Une autre ampoule, placée en dehors du cœur, entre l'organe et les parois de la poitrine, recevra, sous forme de compression, la pulsation cardiaque ou choc du cœur. Placée dans l'aorte ou dans une grosse artère, elle subira, sous forme de compressions variées, tous les changements qui surviendront dans la pression du sang à l'intérieur du vaisseau, et fournira des indications identiques avec celles que donne le pouls de ces artères enregistré au moyen du

pliquait sur une artère la membrane du premier entonnoir, les battements du vaisseau se transmettaient au levier qui les enregistrait.

Antérieurement à toutes ces expériences, le docteur Upham (de Boston) avait essayé, par un semblable moyen, de transmettre à des sonneries électriques les mouvements extérieurs du cœur; le physiologiste américain expérimenta sur M. Groux. On voit la figure de l'appareil du docteur Upham dans la brochure déjà signalée. (*Fissura sterni congenita. New observ. and experim.* 2<sup>e</sup> édition, Hamburg, 1859.)

Ces expériences, destinées à faire constater l'intervalle qui sépare le début de la contraction de l'oreillette et de celle du ventricule, ne nous semblent pas à l'abri de tout reproche, malgré l'ingéniosité de l'appareil. Nous n'en parlons ici que pour signaler l'un des auteurs de la découverte de la transmission des mouvements au moyen de tubes pleins d'air.

Du reste, l'appareil de M. Buisson présente un avantage sur celui du docteur Upham, c'est qu'il ne renferme que de l'air, tandis que dans l'appareil du physiologiste américain, l'un des entonnoirs est rempli d'eau, ainsi qu'une partie du tube, ce qui fausserait les indications si l'on voulait enregistrer la forme des mouvements que cet appareil décèle.

(1) M. Gavarret, dans le rapport qu'il a fait à l'Académie sur le présent travail, appelle la première ampoule « *ampoule exploratrice* », et la seconde, « *ampoule indicatrice* ». Ces dénominations nous paraissent préférables aux nôtres.



sphygmographe. Pour se prêter à tous ces usages, l'ampoule *initiale* doit prendre une infinité de formes différentes. C'est la pièce essentiellement variable de l'appareil.

Ces premières notions étaient indispensables pour bien comprendre l'utilité de chacun des organes de notre appareil cardiographique. Nous pouvons maintenant en décrire exactement la construction, en montrant d'abord quelle est la partie fixe qui fonctionne dans toutes les expériences, et en indiquant, à propos de chaque expérience, les dispositions particulières qu'on doit donner à l'*ampoule initiale*.

#### DESCRIPTION DU CARDIOGRAPHE.

La figure 2 représente dans son ensemble le cardiographe réduit au sixième de sa grandeur réelle.

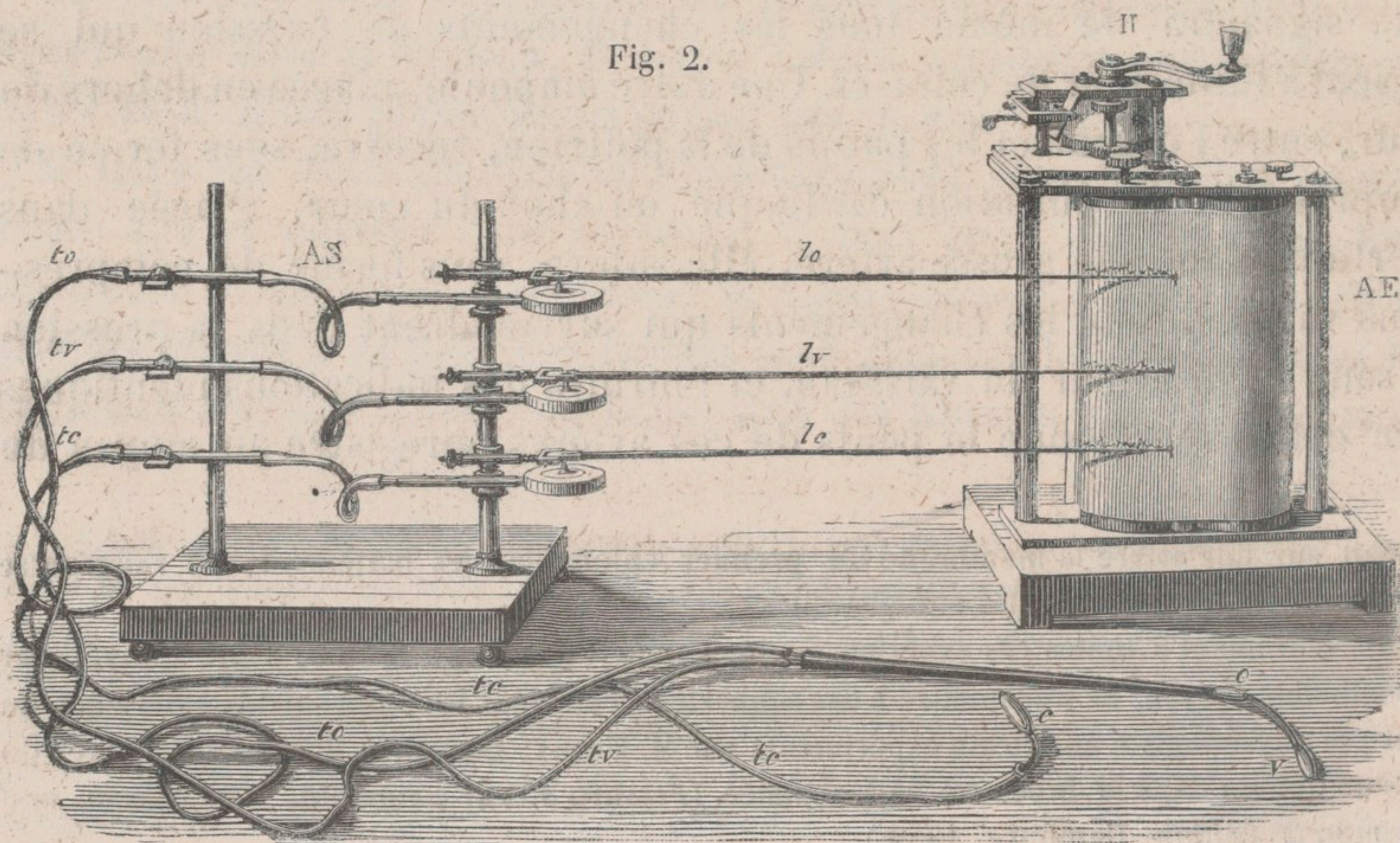


Fig. 2.

L'instrument se compose de deux éléments principaux : AE, l'*appareil enregistreur*, et AS, l'*appareil sphygmographique*, c'est-à-dire celui qui reçoit, transmet et amplifie les mouvements qu'il faut étudier.

#### *Appareil enregistreur.*

L'*enregistreur* AE est constitué par deux cylindres verticaux (1),

(1) Dans cette figure, les cylindres se voient peu, car ils sont recouverts d'une bande de papier. On aperçoit seulement leurs extrémités au bord de cette bande.



dont les axes traversent deux plaques de cuivre reliées l'une à l'autre par trois fortes colonnes métalliques. La plaque inférieure repose sur une base large et bien horizontale.

Le cylindre qui, dans la figure, est à droite, tourne à volonté dans tous les sens. Seulement, un ressort qui le presse exige une certaine force pour que la rotation du cylindre se produise.

Le cylindre qui est placé à gauche (cylindre moteur) porte en haut de son axe une roue dentée qui s'engrène avec un mouvement d'horlogerie, de telle sorte que, lorsque l'appareil est en marche, ce cylindre tourne avec régularité.

Le sens de la rotation de ce second cylindre est tel, que si l'on enroule autour du premier une longue bande de papier, et si l'extrémité de cette bande est fixée sur le cylindre moteur, ce papier se déroule graduellement du premier cylindre, et s'enroule sur le second tant que marche le mouvement d'horlogerie. Grâce à la légère résistance que présente le cylindre qui se déroule, le papier est toujours tendu. Ce papier est, en outre, soutenu entre les deux cylindres par un petit cylindre intermédiaire, faisant l'office de poulie de renvoi, et forme ainsi une surface plane, rigide, sur laquelle s'écrivent les divers mouvements qu'on devra analyser.

On se sert pour cet usage d'un papier glacé qui ne présente, pour ainsi dire, aucune résistance de frottement lorsque la plume écrit sur lui. En outre, ce papier porte des divisions formées par des lignes parallèles horizontales et verticales, figurant des carrés de 3 millimètres de côté. Ces divisions sont très-utiles pour comparer la force, la durée et les rapports de succession des différents mouvements qui sont enregistrés.

#### *Appareil sphygmographique.*

L'appareil sphygmographique AS (même figure) offre à décrire les leviers et les systèmes d'ampoules conjuguées qui leur transmettent le mouvement. Ils sont représentés dans la figure, au nombre de trois, avec la disposition qu'on leur donne dans l'expérience fondamentale que nous rapporterons en premier lieu. De ces trois leviers, l'un, *lo*, écrira les mouvements de l'oreillette; l'autre, *lv*, ceux du ventricule, et le troisième, *lc*, le choc précordial. Tous trois sont bien horizon-

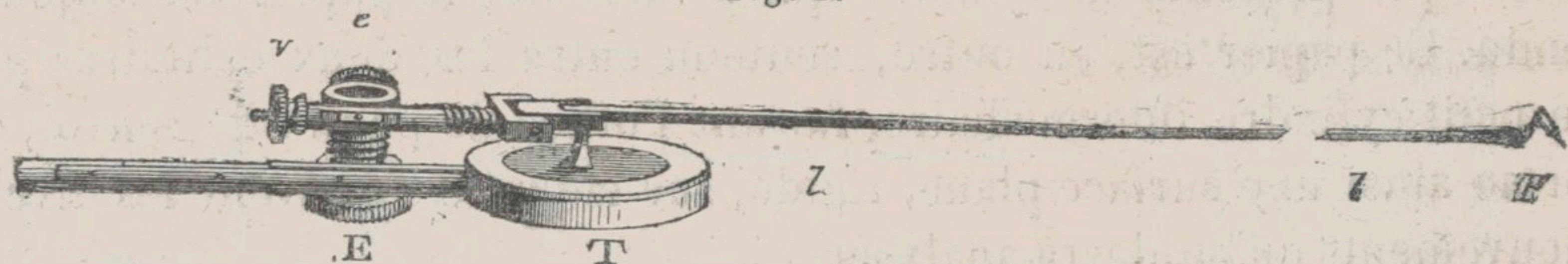


taux, et leurs pointes écrivantes sont en contact avec le papier qui recouvre les cylindres de l'enregistreur. Ces trois pointes doivent être exactement superposées, de sorte qu'un trait vertical tracé sur le papier les rencontre toutes trois. Lorsque les leviers se mouveront, pendant que le papier exécutera sa translation de droite à gauche, il en résultera des lignes sinueuses qui fourniront l'interprétation des divers mouvements du cœur.

Tous les leviers, avec les ampoules terminales qui leur donnent le mouvement, sont exactement semblables entre eux ; la description d'un seul de ces appareils sera donc suffisante. Une tige verticale, dont la base est fixée dans un plateau bien horizontal, leur sert de support commun.

*Levier et ampoule terminale* (fig. 3). — Une pièce tubulaire *Ee* reçoit la tige verticale de support, le long de laquelle cette pièce peut glisser à volonté pour élever ou descendre chacun des leviers. Lorsqu'on veut maintenir cette pièce en position, on tourne une vis de

Fig. 3.



pression latérale qui vient comprimer la tige ; dès lors, il n'y a plus de glissement possible, et l'appareil est immobile. Sur cette virole *Ee*, est fixée latéralement une pièce horizontale qui porte une chape dans laquelle est l'axe du levier. Cet axe, parfaitement horizontal, traverse la base du levier, qui peut librement s'élever ou s'abaisser en tournant autour de lui. Le levier *llp* est d'une légèreté extrême ; sa base est en aluminium ainsi que sa pointe, et tout le reste est en bois d'une très-grande minceur. La pointe *p* est faite d'une lame d'aluminium courbée, de façon à former un angle qu'on humecte d'encre, et dont le sommet constitue une plume à trait fort délié.

Si l'on a besoin de faire avancer ou reculer le levier suivant sa longueur, pour placer sa pointe verticalement au-dessus des autres, on fait mouvoir la chape par le moyen d'une vis dont la tête *v* est à gauche de la virole *Ee* : suivant qu'on tourne cette vis à droite ou à gauche, la chape avance ou recule, et avec elle le levier qu'elle supporte.

L'ampoule élastique sur laquelle repose le levier qu'elle met en



mouvement, mérite une description particulière. Elle est formée par une caisse ou tambour métallique T, d'environ 5 centimètres de diamètre sur 6 millimètres de hauteur. Ce tambour, ouvert à sa face supérieure, est recouvert en ce point par une feuille de caoutchouc très-élastique, assez mince et peu tendue. Un tube horizontal s'ouvre dans le tambour T, de sorte que, suivant qu'on foule de l'air à travers ce tube ou qu'on exerce une aspiration, la membrane du tambour s'élève ou s'abaisse, entraînant avec elle le levier qui reçoit son mouvement. Pour réaliser cette transmission, un petit disque de carton, muni d'une *arête* transversale de 7 à 8 millimètres de hauteur, est collé sur la membrane du tambour. L'*arête*, sorte de chevalet, sur lequel s'appuie le levier, vient rencontrer celui-ci près de son centre de mouvement. Il suit de là que la membrane ne saurait se soulever ni s'abaisser sans que le levier, qui repose indirectement sur elle, participe à son élévation ou à son abaissement, et amplifie considérablement les mouvements de cette membrane.

Comme il faut à volonté faire varier le point d'application de l'*arête* sur le levier pour régler l'amplitude des oscillations du levier, on obtient ce résultat en faisant marcher en avant ou en arrière le tube métallique qui se rend au tambour. Ce tube glisse à cet effet dans une gouttière horizontale accolée à la virole Ee. Si l'on pousse l'extrémité de ce tube du côté de la virole, le tambour s'avance et avec lui son *arête*. Celle-ci se trouve alors en contact avec le levier à une plus grande distance de l'axe. Si, au contraire, on tire en arrière l'extrémité du tube, le tambour recule; alors l'*arête* vient se placer très-près de l'axe. Dans le premier cas, les mouvements exécutés par la plume du levier ont le moins d'amplitude possible; dans le second, ils sont à leur maximum.

Enfin, il faut pouvoir élever ou abaisser le tambour, afin de placer le levier qui repose sur lui dans une position horizontale. Pour cela, on tourne à droite ou à gauche l'écrou E qui termine en bas la virole Ee. Alors, le tube et le tambour T s'élèvent ou s'abaissent en restant horizontaux; l'*arête* s'élève ou s'abaisse également, et, avec elle, le levier, que l'on peut mettre dans la position voulue.

La figure 2 montre les trois systèmes de tambours et de leviers superposés sur leur montant commun. Chacun des tubes qui s'ouvrent dans les tambours se continue, en arrière, par un tuyau de caoutchouc,



avec un tube métallique muni d'un robinet. Ces trois tubes sont aussi fixés à une tige verticale plantée sur le plateau de l'appareil AS. L'usage des robinets est de pouvoir, à volonté, mettre les tambours en communication avec les ampoules initiales, ou bien intercepter cette communication, ou bien encore faire communiquer l'intérieur des tubes avec l'air extérieur.

Nous aurions à décrire maintenant l'élément variable de l'appareil, celui qui doit être mis en rapport direct avec la partie du cœur ou du système artériel dont on veut étudier les mouvements. C'est ce que, dans l'aperçu général sur la construction du cardiographe, nous avons appelé *l'ampoule initiale*. Mais les différentes formes que cet élément variable doit affecter seront décrites à propos des expériences pour lesquelles elles sont nécessaires.

## CHAPITRE DEUXIÈME.

### **Première expérience cardiographique. — Détermination de la succession des divers mouvements du cœur et de leurs rapports avec la pulsation cardiaque.**

*Disposition particulière de l'appareil pour cette expérience.* — Sonde qui s'introduit dans le cœur droit pour recevoir les mouvements de ses cavités. — Ampoule qui reçoit le choc du cœur. — Manuel opératoire.

*Analyse du tracé* qui fournit les indications des mouvements de l'oreillette droite, de ceux du ventricule droit et de la pulsation cardiaque.

*De l'intervalle* qui sépare la contraction de l'oreillette de celle du ventricule. — Du *synchronisme* de la contraction ventriculaire avec la pulsation cardiaque.

*De la durée* comparative de la contraction de l'oreillette et de celle du ventricule. — De la durée de la pulsation cardiaque.

*De la pulsation cardiaque* ou choc du cœur, et, en général, des différentes pressions que les ventricules exercent contre les parois thoraciques à chaque moment d'une révolution du cœur.

*De la réplétion* des cavités du cœur pendant leur état de relâchement, et des indications que fournit le tracé cardiographique relativement à cette réplétion.

*De la clôture des valvules du cœur* et des signes qui, dans le tracé, indiquent le moment de cette clôture.

L'expérience que nous allons rapporter est celle dont nous avons publié un court résumé, portant seulement sur le point fondamental, dans les *Comptes rendus de l'Académie des sciences*. C'est par elle que nous avons commencé nos recherches, afin d'avoir, dès le début, la so-



lution d'une des questions les plus importantes pour la pratique médicale. Cette question est la suivante : *le choc du cœur arrive-t-il au moment de la systole de l'oreillette, ou bien correspond-il à la systole du ventricule ?* La réponse a été catégorique; et l'expérience a, de plus, révélé bon nombre de faits intéressants, que nous ne songions pas tout d'abord à lui demander.

Il fallait enregistrer à la fois les mouvements de l'oreillette, ceux du ventricule et la pulsation cardiaque, afin de déterminer, d'après la forme respective de leurs tracés, l'ordre dans lequel ces mouvements se produisent. Trois leviers devaient donc fonctionner à la fois, exprimant chacun les mouvements communiqués à l'ampoule initiale correspondante. Pour cela, les trois ampoules furent placées, l'une dans une oreillette, l'autre dans un ventricule, la troisième dans les parois mêmes de la poitrine, au niveau du point où la pulsation du cœur est le plus apparente. Le cœur droit fut choisi pour l'introduction des ampoules dans ses cavités; en effet, la veine jugulaire fournit une voie facile et sûre pour pénétrer dans l'oreillette droite et de là dans le ventricule. C'est au moyen d'une sonde à double courant que les ampoules furent portées dans les cavités droites du cœur.

*Description de la double sonde du cœur droit.*

Afin d'introduire à la fois dans l'oreillette et dans le ventricule droits les ampoules *initiales* qui devaient recevoir les mouvements de ces deux cavités, nous construisîmes une sonde particulière, représentée fig. 4. Cette figure donne la représentation extérieure de la sonde, ainsi que la coupe de la plupart de ses parties constituantes.

Les deux ampoules V et O sont destinées, la première au ventricule, la seconde à l'oreillette.

De l'ampoule V part un tube de gomme flexible TV, qui traverse l'ampoule O sans communiquer avec elle, et qui se continue à travers une grosse sonde, également de gomme, en gardant toujours son indépendance. Sorti de la grosse sonde, ce tube se prolonge par un tube de caoutchouc de 2 mètres environ de longueur, et va aboutir enfin à l'ampoule *terminale* qui fera marcher le levier ventriculaire.

L'ampoule O s'ouvre dans la grosse sonde, et la cavité de cette der-



nière s'ouvre à son tour dans le tube TO, long tuyau de caoutchouc, semblable à TV, et aboutissant comme lui à une ampoule terminale qui fait mouvoir un second levier (voy. fig. 2). Le trajet qui réunit l'ampoule initiale O à son ampoule terminale est donc indépendant du conduit TV. Il est formé, dans l'intérieur de la sonde, par l'espace circulaire TO, qui existe entre la grosse sonde enveloppante et la sonde enveloppée TV, ainsi qu'on peut le voir sur la coupe.

Les ampoules initiales V et O sont toutes deux formées par une membrane de caoutchouc tendue sur une sorte de charpente métallique, dont voici la description :

Cette charpente a pour base deux boutons hémisphériques de métal de 1 centimètre de diamètre séparés l'un de l'autre par un espace de 3 centimètres environ. Ces boutons ont leurs surfaces planes tournées l'une vers l'autre : ils sont reliés entre eux par quatre tiges d'acier implantées sur leurs bords, tiges formant les arêtes d'un prisme quadrilatère terminé par deux sommets arrondis, que représentent les hémisphères de métal. Sur ces arêtes métalliques est tendu un tronçon de tube élastique mince, qui les enveloppe dans son intérieur, en rejoignant par ses deux bouts les boutons de métal, sur lesquels il est lié par des fils très-serrés, appliqués au niveau d'une rainure circulaire.

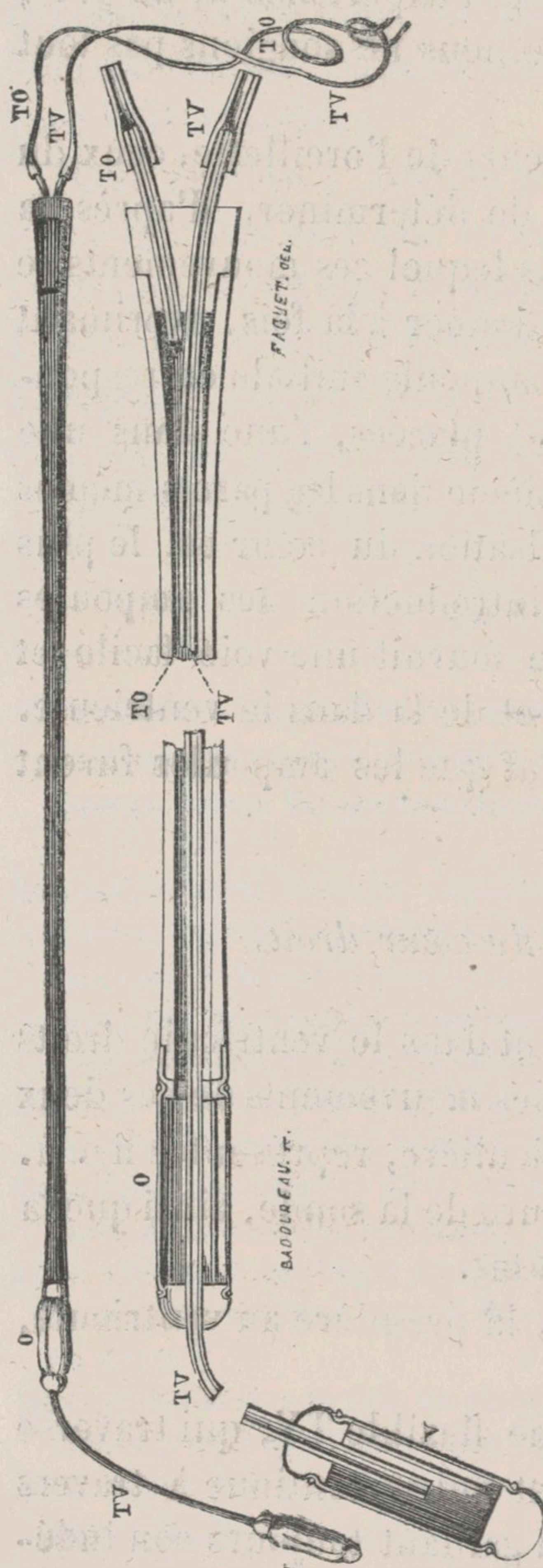


Fig. 4.

Chacune des deux ampoules présente donc quatre fenêtres rectangulaires membraneuses, limitées par quatre arêtes rigides. Ces fenêtres, pouvant céder dans tous les sens aux pressions qu'elles supportent, se



gonfleront ou se déprimeront, suivant que les ampoules seront placées dans un milieu raréfié ou comprimé; et les tambours qui communiquent avec ces ampoules imprimeront aux leviers des mouvements de descente ou d'élévation.

*Manuel opératoire.*

Voici comment on introduit la sonde cardiaque dans les cavités droites du cœur.

On choisit comme sujet d'expérience un grand animal, afin d'avoir le double avantage de trouver des battements plus forts et moins fréquents; et, d'autre part, d'avoir une plus large voie pour l'introduction de la sonde : c'est le cheval qui nous a servi. On met à nu la veine jugulaire, vers la partie inférieure du cou, et l'on applique sur ce vaisseau une forte ligature. Puis on fait aux parois de la veine une incision longitudinale de 2 à 3 centimètres, située immédiatement au-dessous de la ligature. On trempe dans l'eau la sonde et ses ampoules pour les rendre glissantes, et l'on introduit l'ampoule V dans l'ouverture de la veine. On pousse alors la sonde de manière à engager successivement le tube TV, l'ampoule O et la grosse sonde, en ayant soin de maintenir avec les doigts les parois de la veine appliquées constamment sur l'appareil pour éviter l'entrée de l'air.

Quand l'ampoule O a pénétré dans l'oreillette, l'ampoule V est arrivée dans le ventricule en tombant par son propre poids à travers l'orifice tricuspide. — La longueur de la sonde TV, dans l'intervalle des deux ampoules, est calculée de telle sorte que l'ampoule V soit bien exactement dans le ventricule lorsque O se trouve dans l'oreillette. — La partie tubulaire mince et flexible qui s'étend entre ces deux ampoules, au moment de la clôture de la valvule tricuspide, est située entre les lèvres de cette valvule, dont elle ne gêne en rien les mouvements (1). (Voyez sur la figure 5 la position des ampoules indiquée par deux petites croix.)

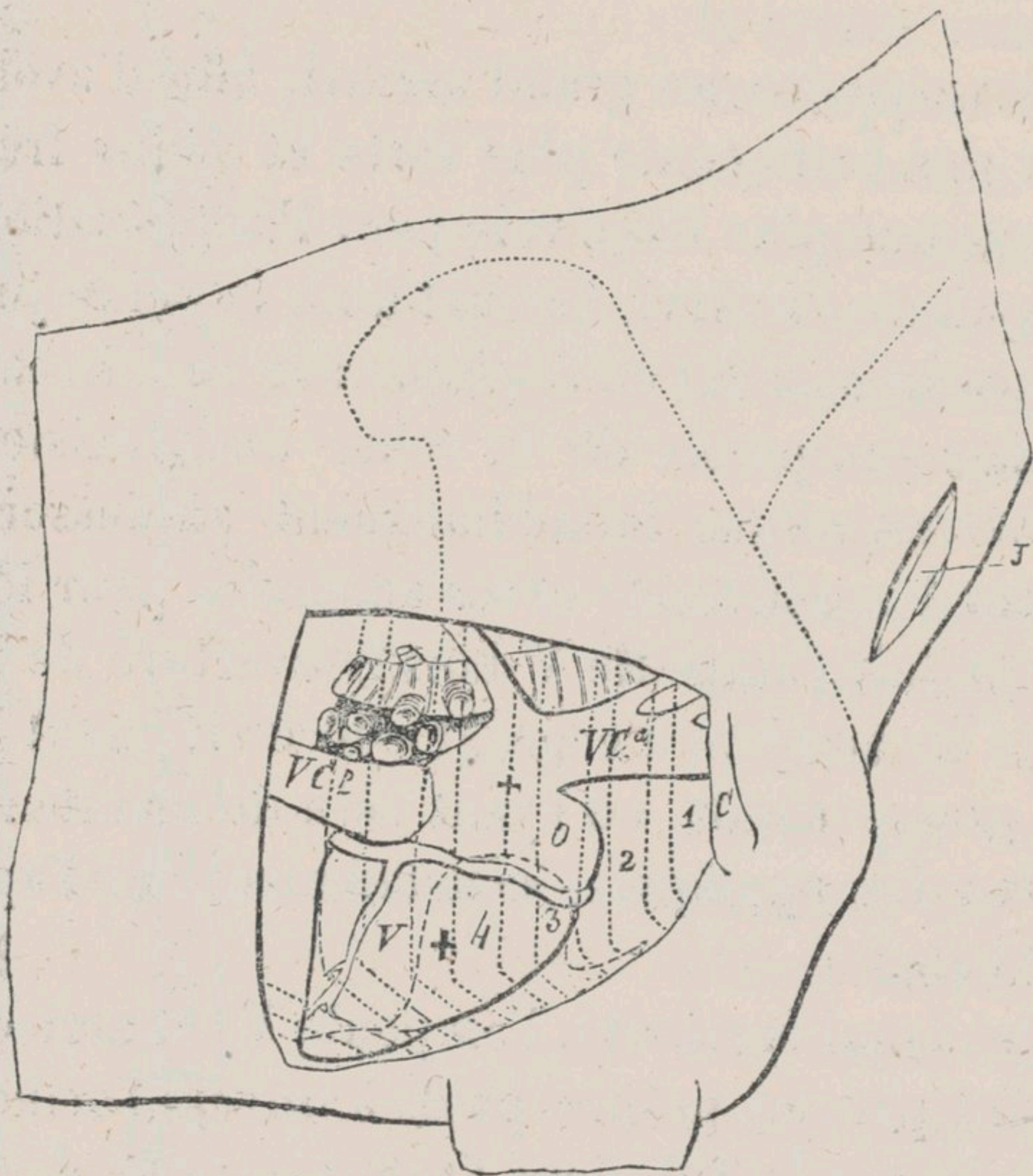
(1) La présence de cet appareil dans le cœur droit est d'une innocuité si parfaite, qu'on ne peut se défendre d'un certain sentiment de surprise lorsqu'on constate cette innocuité pour la première fois. L'animal n'est nullement troublé : il marche, court, boit, mange comme de coutume. En comptant le chiffre du pouls, on trouve quelquefois une légère accélération, surtout dans les premiers instants; mais les mouvements du cœur sont toujours réguliers et donnent, à l'auscultation, des bruits d'un caractère normal. Quand la sonde est retirée,



*Ampoule destinée à recevoir le choc du cœur.*

L'ampoule qui reçoit le choc cardiaque (voy. fig. 2) est très-analogue à celle qui est introduite dans le ventricule; seulement elle est dépour-

Fig. 5 (1).



vue d'arêtes métalliques. L'enveloppe de caoutchouc qui la constitue est tendue fortement entre les deux boutons métalliques; et ceux-ci sont tenus éloignés l'un de l'autre par une tige centrale rigide. L'ampoule ainsi formée est donc compressible par tous les points de sa surface. Elle est mise en communication avec un tube métallique courbé en arc de cercle, et qui s'adapte au tuyau de caoutchouc *tc* (fig. 2), par lequel se fera la transmission du mouvement jusqu'au tambour et au levier correspondant.

Cette ampoule est placée dans le quatrième espace intercostal, soit à droite, soit à gauche, mieux de ce dernier côté, pour recevoir le choc

après être restée deux ou trois heures dans le cœur, si l'on abandonne l'animal à lui-même, il peut guérir parfaitement.

(1) *Explication de la fig. 5.* — Cette figure représente le cœur du cheval vu par sa face droite, dans sa position physiologique, chez l'animal debout, et dans ses rapports avec l'épaule, le poumon et les côtes. — Celles-ci sont indiquées par des traits ponctués. — Un trait en points allongés limite le bord inférieur du poumon, et dessine l'échancrure que l'organe présente au niveau du cœur, échancrure qui permet à celui-ci de se mettre en contact direct avec la paroi thoracique, à droite et à gauche, et qui est plus profonde de ce dernier côté. — J, *jugulaire*. — C, *première côte*. — O, *Oreillette droite*. — V, *ventricule droit*. — VCa, *veine cave antérieure ou supérieure*. — VCp, *veine cave postérieure ou inférieure*. — 1, 2, 3, 4, *premier, deuxième, troisième et quatrième espaces intercostaux*. Le chiffre 4 occupe la place où l'ampoule du choc doit être appliquée, au niveau du centre de l'échancrure pulmonaire.



cardiaque qu'elle doit transmettre à l'enregistreur. Voici le manuel de cette seconde opération :

On fait, sur le sujet d'expérience, une petite incision verticale au niveau du bord postérieur du triceps brachial, un peu au-dessus du coude. Cette incision pénètre assez profondément pour qu'elle divise le peaucier, le grand dentelé, l'intercostal externe. En introduisant le doigt dans la plaie ainsi faite, on dédouble les deux muscles intercostaux, de manière à former entre eux une cavité de 4 ou 5 centimètres de profondeur, cavité dans laquelle on enfonce l'ampoule. Celle-ci, ainsi appliquée, se trouve en face de la partie moyenne du ventricule, et reçoit de lui les pressions que développent les pulsations cardiaques (1).

Lorsque l'expérience est ainsi instituée, que la sonde cardiaque droite est introduite dans le cœur, et que l'ampoule qui recevra le choc est placée dans un espace intercostal, les trois leviers sont animés de mouvements différents, car chacun d'eux reçoit son impulsion d'une source particulière.

Le levier *lo* communique, par le tube *to*, avec l'ampoule *O* de la sonde cardiaque. Il écrira donc les mouvements de l'oreillette droite.

Le levier *lv*, mis en rapport par le tube *tv* avec l'ampoule *V*, exprimera les mouvements du ventricule droit.

Le levier *lc*, recevant son mouvement par le tube *tc*, de l'ampoule *c*, donnera le tracé du choc du cœur.

Si alors, après s'être assuré que les plumes des leviers sont exactement superposées et donnent une trace nette, on fait partir le déclenchement du mouvement d'horlogerie, le papier se déroule d'une manière uniforme, et l'on obtient ainsi le tracé représenté dans la figure 6.

ANALYSE DU TRACÉ CARDIOGRAPHIQUE QUI FOURNIT LES INDICATIONS DES MOUVEMENTS DE L'OREILLETTE DROITE, DE CEUX DU VENTRICULE DROIT ET DE LA PULSATION CARDIAQUE (FIG. 6).

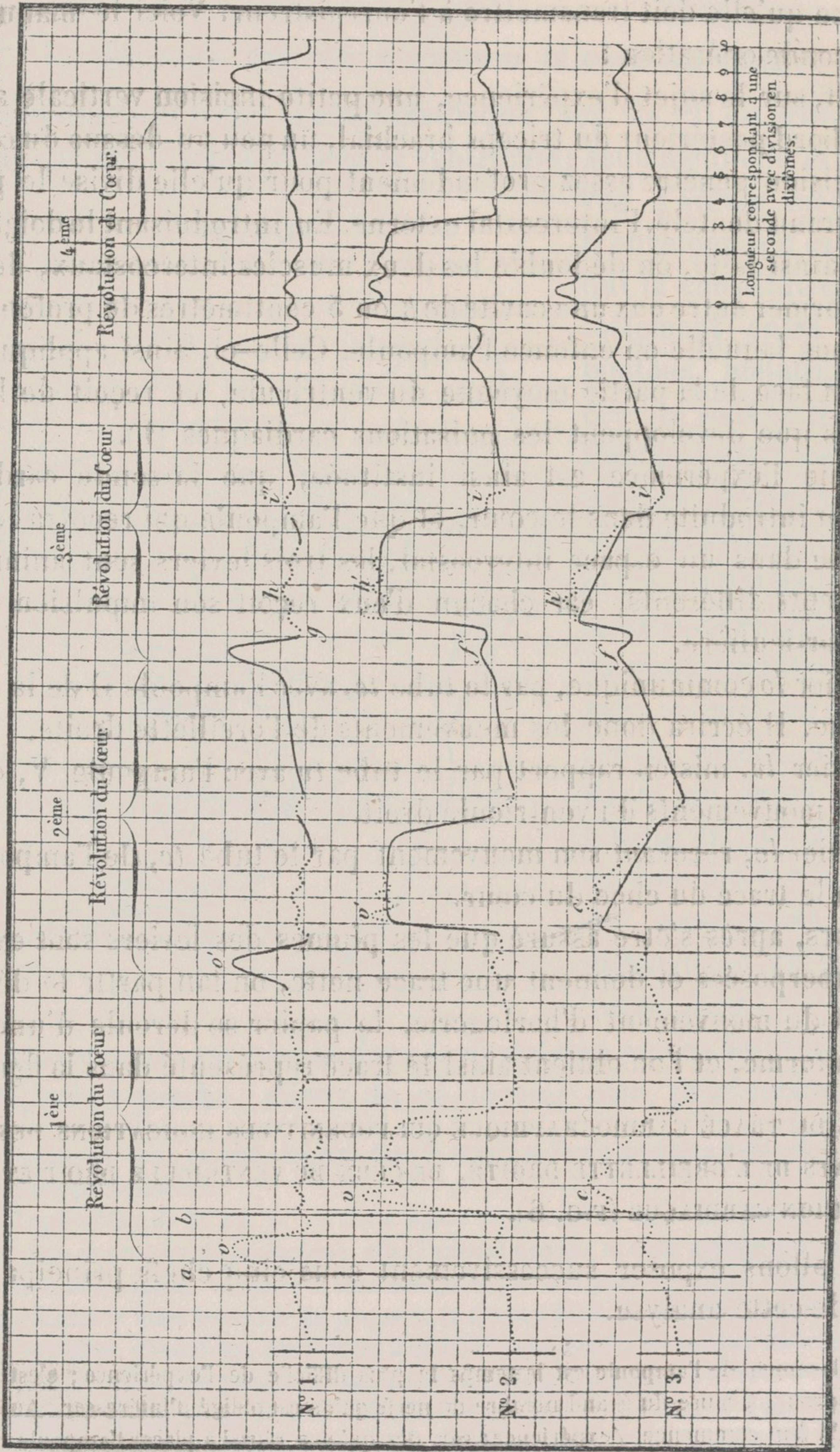
Nous allons exposer successivement sous cinq chefs principaux les détails de cette analyse.

(1) Le placement de l'ampoule est le temps le plus difficile de l'expérience ; c'est aussi le plus douloureux, à cause du grand nombre de nerfs qu'on est obligé d'intéresser. Aussi est-ce par lui qu'il faut commencer l'expérience ; car, dès qu'on a réussi à placer l'ampoule intercostale au niveau de la partie moyenne du ventricule, sans ouvrir la cavité thoracique, le reste ne présente plus de difficultés sérieuses.



Fig. 6.

Cette figure 6 représente les tracés (n° 1) de l'oreillette, (n° 2) du ventricule, (n° 3) de la pulsation cardiaque. — Les mouvements sont enregistrés pendant quatre révolutions du cœur. — Les tracés se lisent de gauche à droite, comme l'écriture ordinaire. Nous don-



nerons l'explication des différents éléments de ces tracés en les analysant successivement dans ces quatre révolutions du cœur. A mesure qu'un des éléments des tracés sera connu, il sera marqué, pour les révolutions suivantes du cœur, par une ligne pleine, au lieu d'une ligne ponctuée.



A. — *De l'intervalle qui sépare la contraction de l'oreillette de celle du ventricule. — Synchronisme de la contraction ventriculaire et de la pulsation cardiaque.*

Quelles sont les indications des tracés de cette figure 6, relativement à la détermination du moment où débutent les divers mouvements cardiaques ? Voilà ce que nous devons chercher à éclaircir tout d'abord.

Il est évident qu'une ampoule placée dans une des cavités du cœur recevra, au moment de la systole de cette cavité, une pression plus intense qu'à tout autre instant d'une révolution cardiaque. Le moment de cette systole correspondra dans la figure au point où le levier s'est élevé le plus haut, c'est-à-dire, pour le tracé de l'oreillette, aux points *o* et *o'*, etc., et pour le tracé du ventricule, aux points *v* et *v'*, etc.

Ces points culminants du tracé indiquent l'instant où l'effort systolique est arrivé à son maximum ; si donc on veut déterminer le point où la systole a débuté, il faut chercher l'endroit où la courbe a commencé à s'élever pour arriver à son summum. Sur le tracé de l'oreillette (première révolution du cœur), ce point correspond à l'intersection de la courbe avec une ligne verticale *a*. Sur la courbe du ventricule, le début de la contraction est indiqué par une autre ligne verticale *b*. On peut donc déjà constater qu'il s'écoule un certain temps entre le début de la systole de l'oreillette et celui de la systole du ventricule.

Si l'on voulait apprécier avec une grande précision l'intervalle de temps qui sépare les débuts de ces deux mouvements, on n'aurait qu'à mesurer au compas l'intervalle qui sépare les deux lignes verticales *a* et *b*, et, à l'aide de l'échelle qui est jointe à la figure, on transformerait en fractions de seconde cette longueur, qui correspond à un certain parcours du papier dont la vitesse est connue. C'est à peu près à 2/10 de seconde que cet intervalle équivaut pour le cas présent.

Passons à la courbe n° 3, celle qui représente la pulsation cardiaque ou choc du cœur. On voit que la pulsation cardiaque présente une forme assez compliquée, et que, loin d'être un choc unique et instantané, elle se compose de mouvements complexes. Toutes ces ondulations trouveront plus tard leur explication détaillée. Nous les laisserons de côté



pour le moment, et nous ne considérerons que les éléments les plus importants du tracé. Il est déjà évident que la pulsation violente que ressent la main, lorsqu'on l'applique au niveau de la région cardiaque, ne peut correspondre qu'à cette haute ascension du levier qui est indiquée en *c* et en *c'*. Ici encore, nous n'avons que le summum d'intensité du mouvement. Pour en avoir le début, il faut, comme tout à l'heure, chercher le commencement de cette forte ascension du levier. Ce point correspond à l'intersection de la courbe et de la ligne verticale *b*, qui a déjà servi à signaler le début de la contraction dans le tracé ventriculaire.

Que conclure de ce synchronisme parfait entre la contraction ventriculaire et la pulsation cardiaque? C'est que cette pulsation dépend de la systole du ventricule, et non de celle de l'oreillette, qui précède sensiblement la pulsation. Cette conclusion, déjà presque forcée, va se confirmer encore quand nous entrerons plus avant dans l'analyse des tracés.

*B. — Durées comparatives des contractions de l'oreillette et du ventricule; durée de la pulsation cardiaque.*

De même que la contraction d'une des cavités du cœur se traduit par une ascension de la courbe graphique, de même le relâchement qui suit la contraction doit se traduire par une descente de cette courbe. On pourra donc, en comparant l'intervalle qui sépare le commencement de l'ascension du commencement de la descente, évaluer les durées respectives des contractions de l'oreillette et du ventricule.

Pour le tracé de l'oreillette (voyez la deuxième révolution du cœur), dès que la systole est arrivée à son summum *o'*, on voit que le levier redescend, c'est-à-dire que le relâchement commence immédiatement. La durée de la systole auriculaire sera donc mesurée par le temps pendant lequel la courbe s'élève.

Pour le ventricule, il n'en est pas de même : la ligne 2 nous montre que l'ascension du levier, une fois arrivée à son summum *v'*, s'y maintient pendant un temps assez long, ce qui prouve que le ventricule continue à se contracter. Enfin, survient une brusque descente indiquant l'arrivée du relâchement ventriculaire. Le début de la systole et



sa fin sont donc représentés, pour le tracé du ventricule, par deux points bien nets : le premier correspond au début de la grande ascension de la courbe, et le deuxième au début de la descente qui suit cette ascension. L'intervalle qui sépare ces points mesure la durée de la systole ventriculaire.

Si l'on porte sur l'échelle des temps l'intervalle qui sépare le commencement de la fin des systoles, on voit que la durée de celle de l'oreillette est d'environ  $1/10$  de seconde, tandis que, pour le ventricule, la systole dure  $4/10$  de seconde.

La pulsation cardiaque (ligne 3) traduit de même son début et sa fin par une ascension et une descente plus brusques que tous les autres mouvements représentés sur cette courbe. Le début de la pulsation se trouve, comme nous l'avons déjà signalé, sur la même ligne verticale que le début de la systole ventriculaire. Or, on peut voir également que la courbe de la pulsation subit un brusque abaissement coïncidant avec la fin de la systole du ventricule. Ce synchronisme vient encore prouver, comme nous l'annoncions tout à l'heure, que cette pulsation cardiaque est bien réellement produite par la contraction ventriculaire. L'oreillette est si bien hors de cause dans le mécanisme de la pulsation, que sa systole est terminée avant que cette pulsation ne débute.

La coïncidence des tracés du ventricule et de la pulsation n'est pas cependant absolument parfaite ; et l'on pourrait s'étonner de voir qu'à partir du point *c'* (summum de la pulsation cardiaque), la courbe de la pulsation descend graduellement, tandis que cela n'arrive pas dans le tracé du ventricule. Cette particularité va trouver son explication dans le prochain paragraphe, qui est destiné à expliquer avec quelques détails la nature de la pulsation cardiaque.

C. — *De la pulsation cardiaque, et en général des différentes pressions que les ventricules exercent contre les parois thoraciques à chaque révolution du cœur.*

Parmi les différents mouvements du cœur, la pulsation cardiaque est un de ceux dont la nature a été le plus discutée, et est encore, de nos jours, le moins connue.

Pour bien comprendre la nature de ce phénomène, reportons-nous à



l'expérience qui consiste à mettre à nu le cœur d'un animal vivant, et à embrasser cet organe entre les mains pendant qu'il exécute ses battements. Les ventricules, extrêmement mous pendant la diastole, peuvent alors être déprimés par les doigts dans tous les sens. Au moment de la systole, cet état change brusquement : ils deviennent durs et globuleux ; la main qui les déprime est énergiquement repoussée ; et d'instinct, l'esprit attribue à ce brusque changement de consistance et de forme, la pulsation produite par le battement du cœur à l'extérieur de la poitrine.

Il est facile de changer cette première intuition en une démonstration rigoureuse, en considérant toutes les circonstances relatives à cette métamorphose du cœur dans le passage de la diastole à la systole.

Attachons-nous d'abord à préciser les conditions dans lesquelles se trouve le cœur pendant la période diastolique, c'est-à-dire au moment du relâchement des parois ventriculaires.

Si la poitrine et le péricarde sont ouverts, la masse ventriculaire, grâce à sa flaccidité, s'affaisse sous son propre poids comme une vessie incomplètement distendue par du liquide. La forme que prend alors le cœur dépend, en grande partie, de la position de l'animal. C'est ainsi que, dans le décubitus latéral, le cœur s'aplatit d'un côté à l'autre, et que, dans la station quadrupède, la face antérieure de l'organe se déprime plus ou moins sur la face postéro-supérieure du sternum.

Dans la poitrine fermée, il est évident que les choses doivent tendre à se passer de la même manière, le cœur y étant doué de la même flaccidité pendant sa *pause*, et soumis également à l'action de la pesanteur. — Mais il intervient, dans ce cas, un nouvel élément qui empêche la masse ventriculaire d'obéir aussi complètement à cette action. Le cœur, en effet, se trouve renfermé dans une loge à *forme déterminée*, loge formée par le poumon, les côtes et le sternum. Cette loge, il est facile d'en constater la forme quand on insuffle modérément les poumons sur un cadavre, après avoir enlevé une des parois latérales de la poitrine au niveau du cœur, et après avoir excisé cet organe. On voit alors que la loge cardiaque représente un conoïde creux à base renversée et inclinée en avant, assez fortement déprimé d'un côté à l'autre, comme est le cœur lui-même quand il a subi la rigidité cadavérique.



Enfermé dans cette cavité, le cœur doit nécessairement s'adapter à la forme qu'elle présente pendant la période de flaccidité, à cause du contact parfait qui ne peut cesser d'exister entre la face interne du contenant et la face externe du contenu. — On comprend que, dans ce cas, la position de l'animal ne puisse plus influencer autant sur la forme que le cœur affecte pendant son état de flaccidité. Le cœur doit garder toujours la forme générale de la cavité qui le contient, au moins dans l'état moyen de distension qui est habituel à l'organe pendant la diastole. Néanmoins, comme les parois de cette cavité sont, en très-grande partie, formées par un organe élastique (le poumon) assez facile à déprimer et à déplacer malgré sa tension, l'action de la pesanteur pourra modifier sensiblement la forme d'ensemble et la position générale que le cœur doit à la disposition de sa cavité de réception. C'est ainsi que, si l'animal est dans le décubitus latéral, le poids du cœur tendra à entraîner sa masse du côté où l'animal est couché, et à éloigner l'organe de la paroi opposée de la poitrine ; mais le cœur ne pourra cependant jamais abandonner cette paroi, comme dans le cas où la poitrine est ouverte.

Considérons maintenant les conditions dans lesquelles se trouve le cœur au moment où son passage à l'état de systole change brusquement la consistance et la forme de l'organe ; et considérons d'abord ces conditions, comme nous l'avons fait pour celles de l'état diastolique, chez l'animal à poitrine ouverte, laissant voir le cœur à nu battant sous l'œil de l'observateur.

Le premier phénomène sur lequel l'attention doive se fixer, c'est la présence des rides que présente souvent la surface du cœur au moment où l'organe devient dur et globuleux : preuve que cette métamorphose coïncide avec le resserrement systolique des ventricules, et non pas avec un effort excentrique de dilatation venant du dedans.

Ceci dit, expliquons la consistance qu'acquiert la masse ventriculaire dans cet état systolique. Lorsque le doigt, déprimant la paroi molle et flasque d'un des ventricules, se trouve vigoureusement repoussé au moment de la systole, il sent nettement que ce résultat est dû, non-seulement à la rigidité qu'acquiert le cœur en se contractant, à l'instar de tous les autres muscles, mais encore à la réaction de la pression intérieure du sang contenu dans le cœur, pression qui s'élève considérablement sous l'influence de cette contraction. C'est là un fait très-



important au point de vue de la pulsation cardiaque : il faut bien se pénétrer de cette vérité que, au moment de la systole, l'augmentation brusque de la pression dans les cavités ventriculaires produit sous le doigt une pulsation semblable, dans ses effets et son mécanisme, à celle que le même accroissement de pression détermine dans le système artériel.

Quant au changement de forme, à la disposition globuleuse qu'affectent les ventricules, ce phénomène, effet nécessaire de la réaction excentrique du sang sur les parois qui pressent ce fluide, s'accomplit suivant un mode qui a paru obscur à plus d'un observateur, et qui est cependant de la plus grande simplicité. — Sur le cheval à poitrine ouverte, couché sur le côté, la face découverte du cœur est considérablement soulevée à chaque systole, et l'organe paraît ainsi s'agrandir pendant qu'il expulse son contenu; il paraît du moins s'agrandir lorsqu'on examine les choses superficiellement. Mais en voyant de plus près, on constate : 1° que le diamètre antéro-postérieur de la masse ventriculaire diminue; 2° que le diamètre longitudinal (grand axe du cœur) se rapetisse également, souvent de 3 à 4 centimètres; 3° que, *seul*, le diamètre latéral augmente; 4° que l'allongement du diamètre latéral et la forme globuleuse qu'il communique au cœur sont surtout prononcés dans la région de la base du cœur; 5° que, dans la région de la pointe, il y a plutôt rétrécissement dans tous les sens des cavités cardiaques.

Ces faits, si faciles à constater quand le cœur bat à nu, se manifestent avec les mêmes caractères dans la poitrine fermée, sur l'animal à l'état physiologique. Quand on explore alors la surface des ventricules, la main étant introduite dans la cavité pectorale à travers la ligne blanche et le diaphragme, les doigts sentent, sur tous les points de cette surface, la pulsation développée par la systole ventriculaire : ils constatent que l'organe se durcit en prenant la forme globuleuse dans ses deux tiers supérieurs, par l'accroissement du diamètre latéral ou petit diamètre et la diminution des deux autres. Seulement, comme les deux parois latérales du cœur sont toujours maintenues écartées l'une de l'autre par leur contact avec les parois correspondantes de la loge thoraco-pulmonaire qui contient l'organe, cet accroissement du petit diamètre est loin d'être aussi prononcé que dans le cœur à nu observé sur



le cheval en décubitus latéral; et quand le cœur s'élargit ainsi, le diamètre latéral de la loge cardiaque augmente également. Partant, les parois latérales de la poitrine tendent, par cet accroissement du petit diamètre du cœur, à s'écarter l'une de l'autre, dans le point où elles sont en contact direct avec l'organe, c'est-à-dire à peu près au niveau du quatrième espace intercostal, vers l'échancrure que présentent à ce point les deux poumons. Ajoutons qu'il est facile de s'assurer que l'accroissement du petit diamètre du cœur se produit toujours de la même manière, quelle que soit la position de l'animal; mais la pression qui en résulte pour les parties avoisinantes varie nécessairement avec cette position, le cœur étant toujours entraîné par son poids vers les parties déclives.

Maintenant, avec cette exposition détaillée des phénomènes qui accompagnent le passage du cœur de la diastole à la systole, il va nous être facile de faire comprendre le mécanisme positif de la pulsation cardiaque, telle qu'elle se produit chez le cheval.

Il est évident que si l'exploration dont il vient d'être question, au lieu d'être faite directement à la surface du cœur, était pratiquée à l'extérieur, à travers les parois thoraciques, et si ces parois étaient assez flexibles pour que le doigt pût aller déprimer partout la surface du cœur, on sentirait partout, comme il a été dit ci-dessus, la pulsation due, d'une part, à la rigidité qu'acquiert le tissu musculaire du cœur en se contractant, d'autre part, et surtout, à la réaction du sang pressé dans les ventricules pendant leur contraction. Mais les parois thoraciques sont loin de présenter une pareille flexibilité; de plus, le cœur est en grande partie couvert par le poumon sur ses faces latérales; en sorte que l'exploration extra-thoracique du cœur sur l'animal, à l'état physiologique, ne peut guère permettre à la pression du doigt d'atteindre l'organe qu'au niveau du point où le cœur se met en contact direct, à travers l'échancrure pulmonaire, avec la paroi thoracique, c'est-à-dire, à peu près généralement, vers le quatrième espace intercostal. Or, on remarquera que, pour que le doigt sente la pulsation cardiaque ou pour qu'une ampoule intercostale la recueille, il n'est pas indifférent qu'ils soient placés en regard de tel ou tel point de la partie du corps non recouverte par le poumon; il faut qu'ils correspondent à un point où se fasse sentir l'augmentation systolique du petit diamètre de l'organe, c'est-



à-dire qu'ils doivent être appliqués au-dessus de la partie moyenne de l'échancrure pulmonaire. Placés plus bas et plus en arrière, vers la pointe du cœur, ils ne subissent aucune action, ou même ils éprouvent un effet inverse à la pulsation (1).

En résumé, la pulsation cardiaque est un phénomène du même ordre que la pulsation artérielle, dû à l'accroissement brusque de la pression intra-cardiaque au moment où les ventricules entrent en systole. — La pulsation se fait sentir sur tous les points de la surface du cœur, quand la main est directement appliquée sur l'organe et en déprime les parois. — A l'extérieur de la poitrine, dans l'état physiologique, cette pulsation est perçue, chez le cheval, au niveau du quatrième espace intercostal, à la hauteur de la partie moyenne de la masse ventriculaire, parce que le cœur, directement en contact, à ce point, avec la paroi thoracique, y éprouve un accroissement de diamètre qui tend à pousser et pousse réellement la paroi du cœur au-devant du doigt. Partout ailleurs, cette pulsation manque, soit à cause de la présence du poumon entre le cœur et la paroi thoracique, soit parce que la masse ventriculaire éprouve un retrait concentrique et attire à elle les parois thoraciques, au lieu de les repousser au dehors.

Chez les mammifères autres que le cheval (qui devait être particulièrement en vue dans cette étude du mécanisme du choc du cœur) les choses se passent exactement de la même manière. Sur tous, ce choc est la pulsation ventriculaire communiquée, par l'effet du changement de forme du cœur, à la paroi thoracique, dans les points où celle-ci répond directement au cœur. Seulement, comme ces points ont plus ou moins d'étendue suivant les espèces, comme la forme globuleuse du cœur, pendant l'état systolique, présente certaines variétés, il s'ensuit qu'on devra trouver quelques différences légères dans les caractères de la pulsation cardiaque. En ce qui regarde particulièrement l'homme, nous croyons devoir faire remarquer que si la pulsation se fait sentir d'arrière en avant, sur la face antérieure du cœur, dans la région de la pointe, c'est parce que cette région est celle où l'organe est accessible à la main, et parce que le cœur étant aplati d'avant en arrière, quand il prend la forme globuleuse, c'est son diamètre antéro-postérieur qui augmente.

(1) Cet effet est ce qu'on appelle la *pulsation négative*.



Le choc du cœur étant ainsi l'effet de la pulsation ventriculaire, on comprend maintenant qu'une ampoule placée dans un espace intercostal au niveau d'un des ventricules du cœur devra subir, à chaque systole de ces ventricules, une pression qui durera autant que cette systole elle-même. La courbe du levier correspondant devra donc ressembler à celle du levier ventriculaire; et, en effet, les deux courbes s'élèvent et s'abaissent ensemble. — Mais nous avons signalé une différence notable entre ces deux courbes. Ainsi, tandis que le levier ventriculaire reste élevé pendant toute la durée de la systole, celui qui trace la pulsation cardiaque descend graduellement, depuis le moment où la systole a atteint son maximum d'intensité jusqu'à celui où elle finit; alors arrive une chute brusque synchrone à celle du tracé ventriculaire.

*Effets de la déplétion systolique des ventricules sur la pulsation cardiaque.* — L'obliquité descendante de la courbe des pulsations pendant la systole des ventricules s'explique très-bien et révèle un nouvel élément de la pulsation. Cet élément, c'est le changement de volume du ventricule à mesure que celui-ci se vide par sa contraction.

En effet, si le ventricule restait toujours également volumineux et dur pendant toute la durée de la systole, il devrait y avoir une pression toujours égale contre les parois thoraciques; mais à mesure que le ventricule se vide, il se rétrécit. La pression extérieure qu'exerce le ventricule va donc diminuer graduellement, jusqu'à ce que le relâchement diastolique vienne supprimer tout effort excentrique contre les parois de la poitrine. Ainsi se trouve expliquée la direction générale qu'affecte la courbe de la pulsation cardiaque dans la partie comprise entre le début de l'ascension et la fin de la descente du levier.

*Effets de la réplétion des ventricules, pendant leur relâchement, sur la pulsation cardiaque.* — Si la déplétion qui se produit pendant toute la durée de la systole du ventricule entraîne une diminution graduelle de la pression du cœur contre les parois thoraciques, nous devons conclure qu'un phénomène inverse se manifeste pendant le relâchement du ventricule, sous l'influence de la réplétion graduelle de celui-ci. On devra donc, pendant toute la durée de ce relâchement, observer dans la direction du tracé une ascension graduelle, indiquant que les ventricules augmentent de volume par l'abord continu du sang de l'oreillette, et qu'ils pressent plus fortement contre les parois thoraciques.



C'est ce qui s'observe, en effet, sur le tracé de la pulsation cardiaque (troisième révolution du cœur).

*Effets de la systole de l'oreillette sur la pulsation cardiaque.* — Mais la réplétion du ventricule trouve dans la contraction de l'oreillette une cause auxiliaire d'accroissement; on devra donc voir survenir, au moment de cette contraction, un surcroît de pression du ventricule contre les parois thoraciques, surcroît de pression qui se traduira par un soulèvement du tracé au point correspondant. Or, si l'on prolonge jusque sur le tracé de la pulsation cardiaque la ligne verticale indiquant le début de la contraction de l'oreillette, on voit qu'elle signale dans la pulsation ce léger redoublement que la théorie faisait prévoir (*f*, troisième révolution du cœur) (1).

*D. — De la réplétion des cavités du cœur pendant leur état de relâchement, et des indications que fournit le tracé relativement à cette réplétion.*

On vient déjà de voir, à propos du tracé de la pulsation cardiaque, que le ventricule se gonfle graduellement dès qu'il est en relâchement; que ce gonflement prend encore plus d'énergie au moment de la contraction de l'oreillette, preuve nouvelle qu'il dépend d'une réplétion du ventricule, sous la double influence du *vis a tergo* d'abord, puis de la systole de l'oreillette. Or, on se trouve naturellement porté à rechercher dans les autres tracés les signes de cette réplétion. Examinons donc à ce point de vue les tracés du ventricule et de l'oreillette.

Dans le tracé du ventricule (troisième révolution du cœur), on voit que tout le temps du relâchement est représenté par une ligne oblique

(1) On sait que, d'après M. Beau, le choc du cœur est produit par l'ampliation soudaine du ventricule au moment de la contraction de l'oreillette. Cette théorie, qui compte encore beaucoup d'adhérents, doit son succès à ce qu'elle est simple et logiquement déduite. Le raisonnement fait comprendre, en effet, que, au moment de la systole auriculaire, il doit y avoir une expansion du ventricule, qui vient ainsi presser plus fortement contre les parois thoraciques. Mais ce que l'expérience seule pouvait apprendre, et ce que nos tracés montrent avec la plus grande clarté, c'est l'importance respective de la pulsation systolique et de cette pulsation cardiaque qui arrive pendant la diastole du ventricule. Après avoir vu ces tracés, on ne saurait conserver le moindre doute sur la question de savoir laquelle de ces deux pulsations répond à ce que l'on appelle le choc du cœur. Évidemment ce choc correspond à la brusque ascension qui arrive, dans le tracé, au moment de la systole ventriculaire.



ascendante, absolument comme cela arrive dans le tracé de la pulsation cardiaque. On y retrouve avec la même forme l'effet de la contraction de l'oreillette  $f'$ . Ainsi, de part et d'autre, la réplétion du ventricule se traduit de la même manière, par l'ascension de la courbe; cela exprime que la charge du sang devient de plus en plus forte.

Le tracé de l'oreillette présente le même phénomène de réplétion. Pendant le relâchement de cette cavité, on peut voir que le point le plus bas de la courbe de l'oreillette est en  $g$  (troisième révolution du cœur). A partir de ce point, qui correspond au relâchement complet, et, par suite, à la plus grande vacuité de l'oreillette, on voit que la direction générale de la courbe est ascendante jusqu'à la prochaine contraction auriculaire.

Il y a donc parfaite concordance des tracés pour prouver que la réplétion s'effectue dans chaque cavité du cœur aussitôt que la contraction est finie et que le relâchement est arrivé. Cette réplétion graduelle s'explique naturellement par l'abord successif du sang que le système veineux vient verser dans les cavités du cœur, aussitôt que celles-ci peuvent le recevoir.

Et maintenant, il ne reste plus, pour terminer l'analyse du tracé, qu'à expliquer la production de certaines ondulations, qu'on observe, sur les trois lignes, au moment où le ventricule se contracte et au moment où il se relâche. Ce sera l'objet d'un dernier paragraphe.

E. — *De la clôture des valvules du cœur, et des signes qui, dans le tracé, représentent cette clôture.*

*Clôture de la valvule tricuspide.* — On a vu, tout à l'heure, comment la contraction de l'oreillette, en faisant pénétrer dans le ventricule une certaine quantité de sang, augmente la pression dans cette cavité et produit, par suite, une élévation dans le point correspondant de la courbe ventriculaire. Si l'orifice tricuspide n'était pas muni de valvules, un reflux se ferait dans l'oreillette quand le ventricule se contracte, et, par un phénomène identique avec le précédent, mais agissant en sens inverse, on verrait à ce moment la pression s'élever dans l'oreillette sous l'influence de la systole du ventricule. Bien que les valvules empêchent ce reflux, il n'en existe pas moins une cause d'éléva-



tion de la pression dans l'oreillette pendant la contraction du ventricule. En effet, les valvules elles-mêmes se soulèvent, formant du côté de l'oreillette un dôme à convexités multiples. Cette espèce de hernie des membranes valvulaires dans l'oreillette doit nécessairement diminuer la capacité de cette cavité et y élever la pression ; aussi voit-on, dans le tracé de l'oreillette, une élévation se manifester au moment de la contraction du ventricule.

Ce soulèvement des valvules n'est point un mouvement unique, mais une sorte d'ondulation, conséquence nécessaire du choc d'une ondée liquide contre une membrane élastique. Toutes les fois qu'un liquide est emprisonné entre des parois élastiques, il suffit qu'il reçoive une impulsion dans un sens, pour qu'il exécute une série de va-et-vient. C'est ce qui arrive pour une masse d'eau contenue dans une vessie et à laquelle on imprime un choc : on voit toute la masse liquide trembloter et osciller alternativement à droite et à gauche.

Lors donc que le sang contenu dans le ventricule se porte, au moment de la contraction, contre les valvules auriculo-ventriculaires, il les tend violemment ; celles-ci cèdent d'abord par leur élasticité, puis réagissent pour céder de nouveau devant l'oscillation du liquide. Ainsi s'expliquent les ondulations que présente le tracé de l'oreillette au point *h* (troisième révolution du cœur).

Mais ces oscillations de la masse liquide contenue dans le ventricule, doivent nécessairement se traduire à l'intérieur de celui-ci par des changements de pression alternatifs, suivant que la masse sanguine se porte vers tel ou tel point ; c'est ce qui arrive en effet. Aussi voyons-nous la courbe ventriculaire présenter des oscillations analogues à celles qu'on voit dans le tracé de l'oreillette. Ces ondulations du tracé ventriculaire sont celles qu'on observe en *h'* (troisième révolution du cœur). Des ondulations analogues devaient exister et existent réellement (en *h''*) dans le tracé de la pulsation extérieure.

*Clôture des valvules sigmoïdes.* — Au moment où le ventricule se relâche, les valvules sigmoïdes s'abaissent et sont légèrement repoussées du côté de la cavité ventriculaire ; elles doivent donc, par la saillie qu'elles font du côté de cette cavité, y produire une légère élévation de la pression ; c'est ce qui s'observe en *i* (troisième révolution du cœur). Le petit choc produit par le claquement valvulaire se marque



même dans le tracé auriculaire et le tracé de la pulsation en *i''* et *i'*.

Tout est donc expliqué dans nos tracés, au point de vue de la signification des divers éléments de chaque courbe. Aussi la quatrième révolution du cœur est-elle tracée *tout entière* par une ligne pleine.

### CHAPITRE TROISIÈME.

#### **Deuxième expérience cardiographique. — Des mouvements qui se passent dans les cavités gauches du cœur.**

Il est généralement admis que le cœur droit et le cœur gauche ont dans leurs mouvements une synergie parfaite, et que tous deux se contractent et se relâchent à la fois. C'est une conclusion qui ressort nécessairement de la présence des fibres unitives communes aux deux oreillettes et aux deux ventricules, fibres dont la contraction doit resserrer à la fois les deux cœurs. L'examen d'un cœur mis à nu confirme cette conclusion ; car, si l'on saisit dans les mains les deux oreillettes ou les deux ventricules, on constate un synchronisme exact dans les mouvements de systole et de diastole des deux systèmes de cavités. Il était toutefois important d'enregistrer les mouvements du cœur droit et du cœur gauche d'une manière simultanée, afin de rechercher si, dans la forme de ces mouvements, il n'existe pas des différences trop peu appréciables pour être perçues par nos sens.

Rien n'est plus facile que d'introduire des ampoules dans chacun des deux cœurs, lorsqu'on a ouvert la poitrine d'un animal qui a le bulbe coupé, et sur lequel on pratique la respiration artificielle. Il suffit de faire un trou à chacune des oreillettes, et d'introduire par ce trou, dans les cavités cardiaques, la sonde exploratrice, que l'on fixe au moyen d'une ligature serrée autour des lèvres de l'ouverture. Mais, dans de telles conditions, qui sont loin d'être physiologiques, le cœur n'a plus de mouvements aussi réguliers que de coutume ; ses battements sont en outre plus faibles et plus précipités. Toutefois, le fait même de l'irrégularité qui survient alors présentait un certain intérêt, car il fallait savoir si ces irrégularités coïncident exactement dans les deux cœurs. Or, le tracé obtenu dans ces conditions, nous a montré une concordance parfaite des mouvements des deux ventricules. Leurs



contractions étaient toujours simultanément fortes ou faibles, rares ou fréquentes. Il n'y avait de différence que dans l'amplitude relative des deux tracés ventriculaires, le cœur gauche ayant toujours plus d'énergie que le droit.

Dans des expériences plus récentes, nous avons réussi à obtenir le tracé du ventricule gauche en même temps que celui des cavités droites, et dans des conditions analogues, c'est-à-dire sur un animal qui se tient debout, qui mange, marche et ne donne aucun signe d'inquiétude. Nous nous sommes servi, pour cela, d'une sonde particulière poussée dans le cœur gauche par une des carotides.

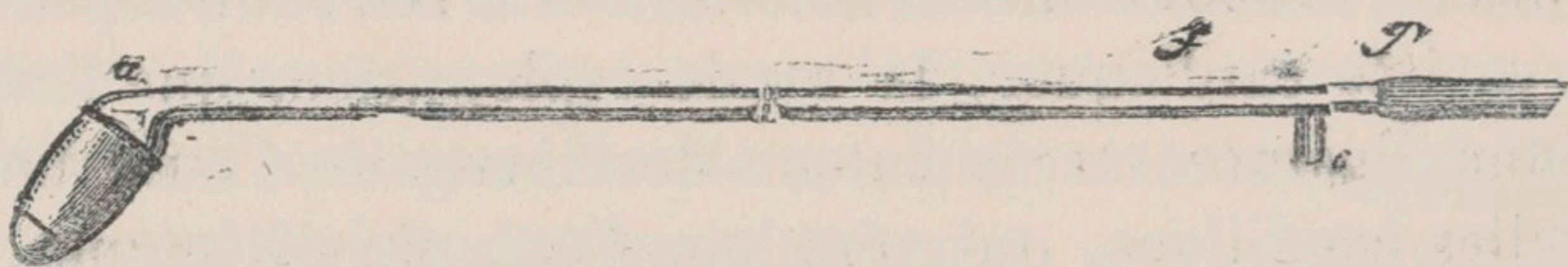
Voici comment se pratique cette expérience, l'une des plus faciles de la cardiographie.

*Description de la sonde du cœur gauche.*

La sonde cardiaque qui doit pénétrer dans le ventricule gauche est formée d'un tube de métal *af* (fig. 7) de 3 à 4 millimètres de diamètre extérieur, à parois rigides. Sa longueur est d'environ 60 centimètres. A l'une des extrémités du tube est une carcasse métallique servant de support à une ampoule élastique, analogue à celle qu'on introduit dans le ventricule droit. L'axe de cette ampoule, au lieu d'être sur le prolongement du tube, forme avec lui un angle obtus d'environ 135 degrés.

Afin de savoir de quel côté est dirigée l'ampoule, dans les manœuvres nécessaires à son introduction, une tige latérale *c* dirigée de ce

Fig. 7.



côté est branchée perpendiculairement sur l'extrémité du tube. On a ainsi, pendant l'expérience, un repère précis.

La sonde ainsi construite est mise en rapport avec un tube *gv*, qui transmet à un des leviers sphygmographiques les mouvements du cœur gauche.



*Manuel opératoire.*

La jugulaire et la carotide étant mises à découvert en bas du cou sur le sujet d'expérience, on commence par placer dans le cœur droit la sonde à double courant, et l'on passe ensuite à l'introduction de la sonde gauche, par un procédé tout à fait analogue à celui qui a été décrit pour le placement de la première.

Pour cela, on lie l'artère, et, après l'avoir fendue au-dessous de la ligature, en comprimant le vaisseau pour s'opposer à l'hémorrhagie, on engage l'ampoule dans l'ouverture, et on la fait arriver jusque sur les valvules sigmoïdes de l'aorte, toujours en serrant l'artère pour maintenir ses parois appliquées sur la sonde. Une nouvelle ligature est alors appliquée sur la carotide pour fixer les parois de celle-ci sur la sonde, sans toutefois empêcher cette dernière d'exécuter des glissements.

Il faut enfin faire pénétrer l'ampoule dans le ventricule gauche. Le hasard fait quelquefois que cette introduction a lieu d'elle-même, et que l'ampoule, au lieu de buter contre les valvules sigmoïdes, trouve celles-ci relevées et les franchit du premier coup. Mais le plus souvent il n'en est pas ainsi, et l'ampoule est arrêtée par les valvules. Il faut alors épier le moment d'une systole ventriculaire, en se guidant sur les oscillations du levier que le ventricule droit met en mouvement. Au moment précis où la systole est arrivée à son maximum, on pousse la sonde en ayant soin de la tenir de manière que l'ampoule soit dirigée en bas. Celle-ci pénètre alors facilement dans la cavité ventriculaire, et l'on peut l'y engager à une profondeur variable. Le tube métallique mince qui porte ainsi l'ampoule dans le cœur gauche à travers l'orifice aortique, ne gêne en rien le jeu des valvules sigmoïdes, qui viennent s'appliquer sur lui d'une manière exacte. Les bruits du cœur continuent à se manifester comme à l'état normal et l'animal n'accuse aucun trouble.

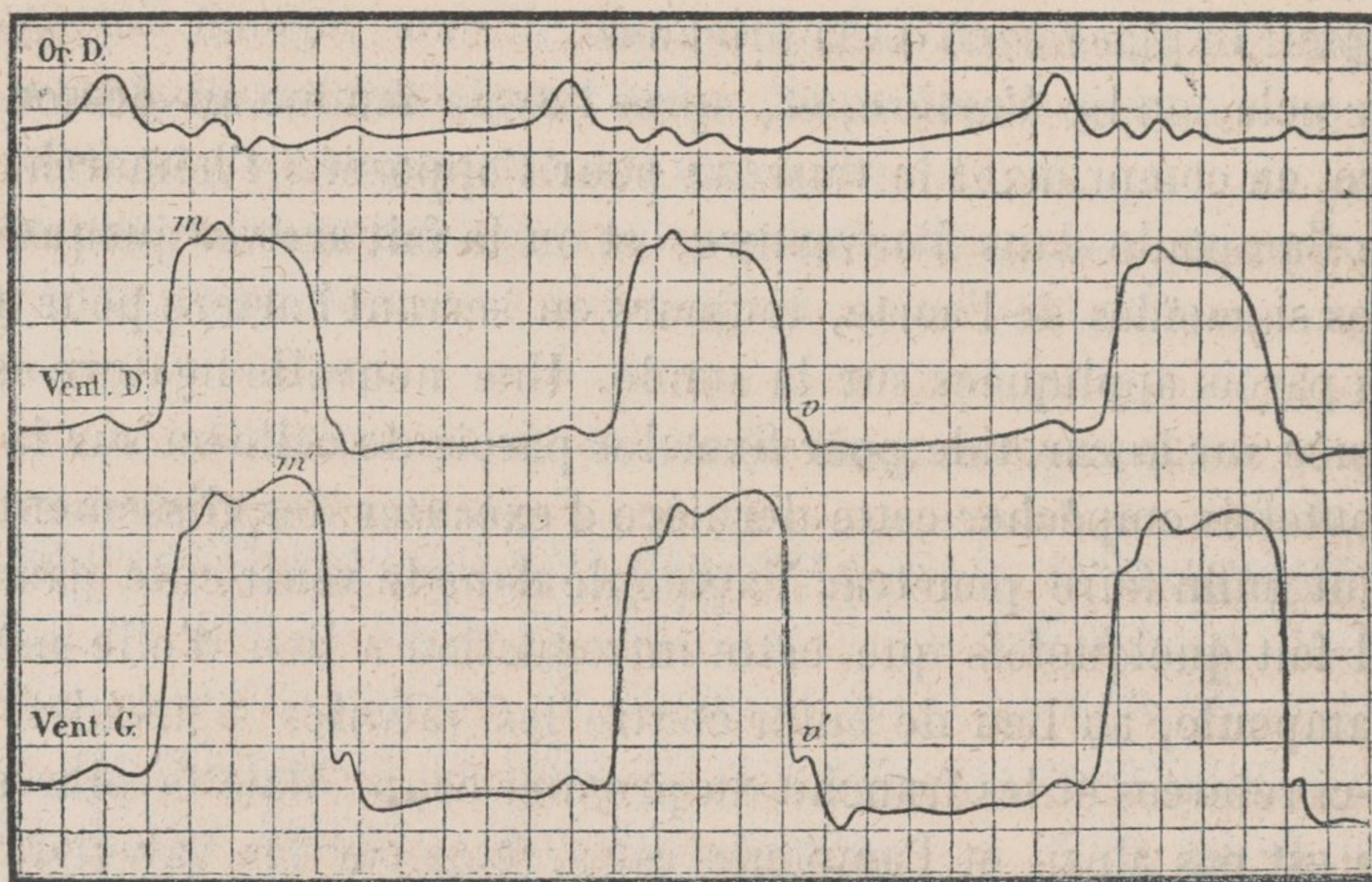
L'extrémité de la sonde étant adaptée au tube *gv*, qui se rend au levier de l'enregistreur, on obtient le tracé suivant.



*Analyse du tracé (fig. 8) (1).*

On peut voir tout d'abord que le tracé fourni par les cavités droites présente sensiblement les mêmes caractères que dans la figure 6; seulement, l'amplitude des mouvements qui expriment la systole de

Fig. 8.



l'oreillette dans le tracé supérieur est un peu plus faible que dans l'expérience précédente; de plus, les vibrations de la valve tricuspide sont moins prononcées dans le tracé du ventricule.

Si l'on examine le tracé des ventricules droit et gauche comparativement, on trouve le plus parfait synchronisme dans le début et la fin des contractions. Le fait de la synergie des deux ventricules se trouve donc démontré par cette expérience.

Jusqu'à présent, l'oreillette gauche est restée inaccessible dans ces expériences faites sur les animaux non mutilés, aussi ne pouvons-nous comparer la forme de ses mouvements à ceux de sa congénère. Nous pouvons toutefois juger du moment précis de sa contraction, d'après le tracé du ventricule gauche. On a vu, en effet, dans la figure 6, que la

(1) Les deux tracés supérieurs sont fournis par le cœur droit; le tracé inférieur est celui du ventricule gauche. — Dans cette expérience, les deux ampoules introduites dans le cœur droit avaient à peu près la même sensibilité; celle du cœur gauche était beaucoup moins sensible que les deux autres.



contraction de l'oreillette droite se traduit, dans le tracé ventriculaire, par une petite ondulation. Cette ondulation existe aussi dans la figure 8 et se manifeste également sur la courbe du ventricule gauche. Comme l'ondulation se produit au même instant dans les deux tracés ventriculaires, le synchronisme des contractions des deux oreillettes se trouve établi comme celui des deux ventricules.

La première différence qui frappe, lorsqu'on compare les deux tracés des ventricules, c'est leur inégale hauteur (ou *amplitude*). Cela indique, pour le ventricule gauche, une plus grande énergie, puisqu'il soulève plus haut le levier de l'appareil (1). Nous reviendrons sur cette inégalité de force dans un autre travail, où nous donnerons une mesure exacte de l'énergie de chacun des deux ventricules.

La forme des deux courbes ventriculaires présente également des différences intéressantes à signaler : l'une porte sur le sommet de la courbe systolique, l'autre sur la clôture des valvules sigmoïdes.

La contraction du ventricule droit arrive, dès le début, à son summum; elle décline ensuite graduellement jusqu'à ce que le relâchement complet arrive. En effet, dans le tracé du ventricule droit, le maximum *m* se trouve dans la première partie de la durée systolique. Dans le ventricule gauche, au contraire, la contraction va toujours en augmentant d'énergie pendant toute la durée de la systole, de sorte que le maximum *m'* se trouve près de la fin de la période systolique (2).

Quant à la clôture des valvules sigmoïdes, on a vu déjà qu'elle se traduit par une ondulation qui survient à la fin du relâchement ventriculaire. Or, on peut voir que cette ondulation est beaucoup plus faible dans le tracé du ventricule droit, en *v* par exemple, que dans le tracé du ventricule gauche, en *v'*. Cette différence d'énergie dans le claquement des valvules sigmoïdes droites et gauches est, du reste, très-bien en rapport avec la différence d'intensité de la force qui produit ce claquement. En effet, la tension artérielle est beaucoup plus forte dans l'aorte que dans l'artère pulmonaire.

(1) Rappelons, en outre, que l'ampoule du ventricule gauche était beaucoup moins sensible que celle du cœur droit.

(2) Cette différence de forme se rencontre fort souvent. Cependant on ne saurait la considérer comme un caractère absolu. Un grand nombre de conditions peuvent faire varier la forme de la contraction pour l'un ou pour l'autre ventricule : ainsi les influences respiratoires, l'état de la circulation artérielle, etc.



## CHAPITRE QUATRIÈME.

**Troisième expérience cardiographique. — Rapports de la pulsation artérielle avec la systole du ventricule gauche.**

Lorsque l'ampoule destinée à recevoir les impulsions systoliques du ventricule gauche est retirée au-dessus des valvules sigmoïdes dans la cavité de l'aorte, le levier sphygmographique auquel cette ampoule correspond continue à décrire des oscillations. Le levier marque alors les pulsations aortiques avec autant de régularité qu'il indiquait auparavant les contractions cardiaques. Il est ainsi très-facile d'étudier ces pulsations aortiques, sans compliquer l'appareil expérimental.

Dans les tracés aortiques obtenus de cette manière, on constate : 1° que les minima de la courbe s'élèvent considérablement, et que l'élévation est proportionnelle à la tension artérielle ; 2° que les pulsations artérielles représentent dans leur forme les principaux caractères du sommet des pulsations cardiaques ; 3° que celles-ci sont généralement un peu plus hautes que celles-là, et que la différence est d'autant plus considérable, que l'ampoule a été, d'une part, plus enfoncée dans le ventricule, d'autre part, retirée plus haut dans l'aorte ; 4° que la chute brusque, isochrone au relâchement ventriculaire, est vite arrêtée dans la courbe aortique, par la clôture des valvules sigmoïdes, et se continue ensuite avec une grande lenteur jusqu'à la pulsation suivante, pendant que la courbe ventriculaire s'élève graduellement par la réplétion diastolique des cavités cardiaques.

Mais on comprend que l'étude de ces caractères de la pulsation aortique, comparée à la pulsation ventriculaire, ne pouvait être complète qu'à la condition d'être faite sur un tracé du ventricule et un tracé de l'aorte pris simultanément. C'était là, en effet, la seule manière de se renseigner avec précision sur la nature des rapports qui existent entre les deux pulsations. Il nous a suffi pour cela, après avoir poussé une ampoule dans le ventricule gauche, d'en introduire une autre tout à fait analogue à l'intérieur de l'aorte, au-dessus des valvules sigmoïdes, en nous servant de la voie offerte par la seconde carotide. Le plus souvent, cette application des deux sondes est d'une innocuité parfaite, et ne



trouble en rien la circulation. La figure 9 représente un spécimen des tracés qu'on obtient ainsi.

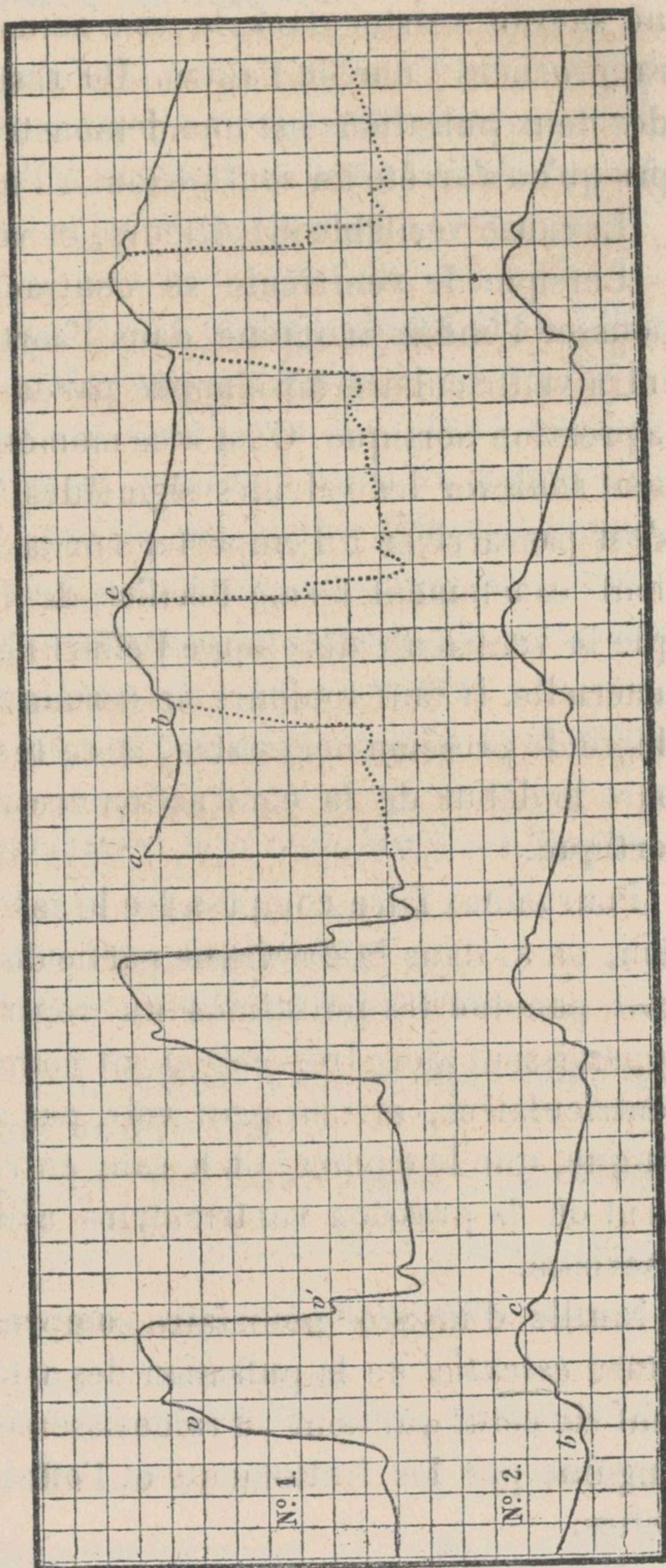
La courbe supérieure reproduit plusieurs contractions du ventricule suivies de plusieurs pulsations aortiques obtenues par le retrait de l'ampoule ventriculaire dans l'aorte.

La courbe inférieure donne les pulsations aortiques reçues par la deuxième ampoule.

L'examen comparatif de ces deux courbes confirme les faits dont il vient d'être question; mais il permet de constater en plus le fait important sur lequel nous allons maintenant appeler l'attention.

Cet examen fait voir que si les deux pulsations, aortique et ventriculaire, *finissent* exactement au même moment, elles sont loin de débiter simultanément. Comparons, en effet, la première pulsation dans les deux courbes, nous verrons qu'au moment où débute la systole ventriculaire, la courbe aortique n'éprouve qu'une petite ondulation tout à fait insignifiante, et que l'élévation accentuée indiquant la pulsation aortique réelle, arrive seulement après un intervalle relativement long. Il y a donc un retard sensible du début de la pulsation aortique sur le début de la systole ventriculaire. Comment ce retard doit-il être interprété?

Fig. 9.





Faisons remarquer tout d'abord qu'il ne peut être question ici d'un retard de transmission de mouvement. Un semblable retard, très-évident quand on compare la pulsation aortique à la pulsation carotidienne, ne saurait exister dans le cas actuel, les deux ampoules étant très-rapprochées l'une de l'autre. Du reste, la coïncidence exacte de la fin des deux pulsations est une démonstration péremptoire qui ne permet pas qu'on s'arrête un seul instant à l'idée d'une semblable cause.

La cause véritable est ailleurs, et voici où il faut la chercher.

Lorsque le ventricule se contracte, il est évident qu'il ne peut pousser l'ondée sanguine dans l'aorte qu'au moment où la pression intra-ventriculaire développée par la contraction devient supérieure à la pression aortique. C'est à ce moment seulement que l'ondée sanguine peut soulever les valvules sigmoïdes. Tant que la pression ventriculaire n'est pas arrivée à l'emporter sur la pression artérielle, celle-ci maintient exactement fermé l'orifice de l'aorte. Or, ce n'est pas d'emblée que le ventricule développe l'effort nécessaire pour vaincre la poussée artérielle. Il faut toujours un certain temps à la systole pour arriver au degré de pression nécessaire, et ce temps est égal à l'intervalle qui sépare le début de la contraction ventriculaire du début de la pulsation aortique.

Pour mieux faire comprendre le mécanisme du retard de cette pulsation, on a, dans la deuxième partie de la première courbe, marqué au trait ponctué les pulsations du ventricule. Les pulsations artérielles apparaissent alors très-nettement comme les sommets des ondulations ventriculaires, et l'on peut voir, par cette sorte de démonstration graphique, que le moment où le sang entre dans l'aorte coïncide avec l'instant où la pression ventriculaire commence à surmonter la pression artérielle.

Inutile d'insister pour faire comprendre l'importance pratique de ce retard *essentiel* de la pulsation des artères, retard tout à fait indépendant de celui qui tient au ralentissement de la transmission de l'ondée sanguine par les frottements et l'effet de l'élasticité des parois artérielles.



## CHAPITRE CINQUIÈME.

**Des variétés qui, à l'état physiologique, peuvent s'observer dans la forme des tracés cardiaques.**

Dans les développements qui précèdent, nous avons, en vue de simplifier l'exposition des faits relatifs à cette question si complexe, négligé beaucoup de points intéressants, pour concentrer toute l'attention sur un certain nombre de tracés types faciles à analyser et à comprendre.

Mais les conditions dans lesquelles ces tracés types ont été obtenus, ne se rencontrent pas constamment, à l'état physiologique, chez différents sujets, ou chez le même animal considéré à des moments différents. Rien n'est plus variable que ces conditions. Un grand nombre d'influences peuvent agir sur elles et modifier ainsi la forme des tracés cardiaques. L'étude de ces variétés est pleine d'enseignements précieux, qui, un jour, dépasseront singulièrement en importance ceux dont la cardiographie actuelle a pu enrichir la science. On devinera tout au moins cette importance dans l'esquisse qui va suivre.

Nous rangerons sous trois chefs les variétés de tracés que nous avons à étudier ici :

A. — Variétés qui tiennent directement à la manière dont le cœur lui-même fonctionne.

B. — Variétés dépendant des influences respiratoires.

C. — Variétés relatives à la pulsation cardiaque extérieure.

**A. — DES VARIÉTÉS QUI TIENNENT DIRECTEMENT A LA MANIÈRE DONT LE COEUR LUI-MÊME FONCTIONNE.**

*Variétés d'énergie dans les pulsations auriculaires.* — Influence sur la forme du tracé ventriculaire et du tracé artériel.

*Variétés d'énergie dans les contractions ventriculaires.* — Influence sur le retard de la pulsation artérielle.

*Variétés dans le rythme suivant lequel se succèdent les mouvements de l'oreillette et ceux du ventricule.*

*Durée comparative des contractions du cœur gauche et du cœur droit.*

*Influence de l'abaissement de la base des ventricules, pendant leur systole, sur la forme du tracé auriculaire.*

*Aspirations présystoliques.* — Faits. — Théorie.

*Variétés d'énergie dans les pulsations auriculaires.* — Influence sur la forme du tracé ventriculaire et du tracé de la pulsation artérielle.

Les tracés auriculaires représentés figures 6 et 8, ont été obtenus



avec la même ampoule et dans les mêmes conditions expérimentales, que celui dont nous donnons ci-dessous la figure (fig. 10). Or, on peut

Fig. 10 (1).

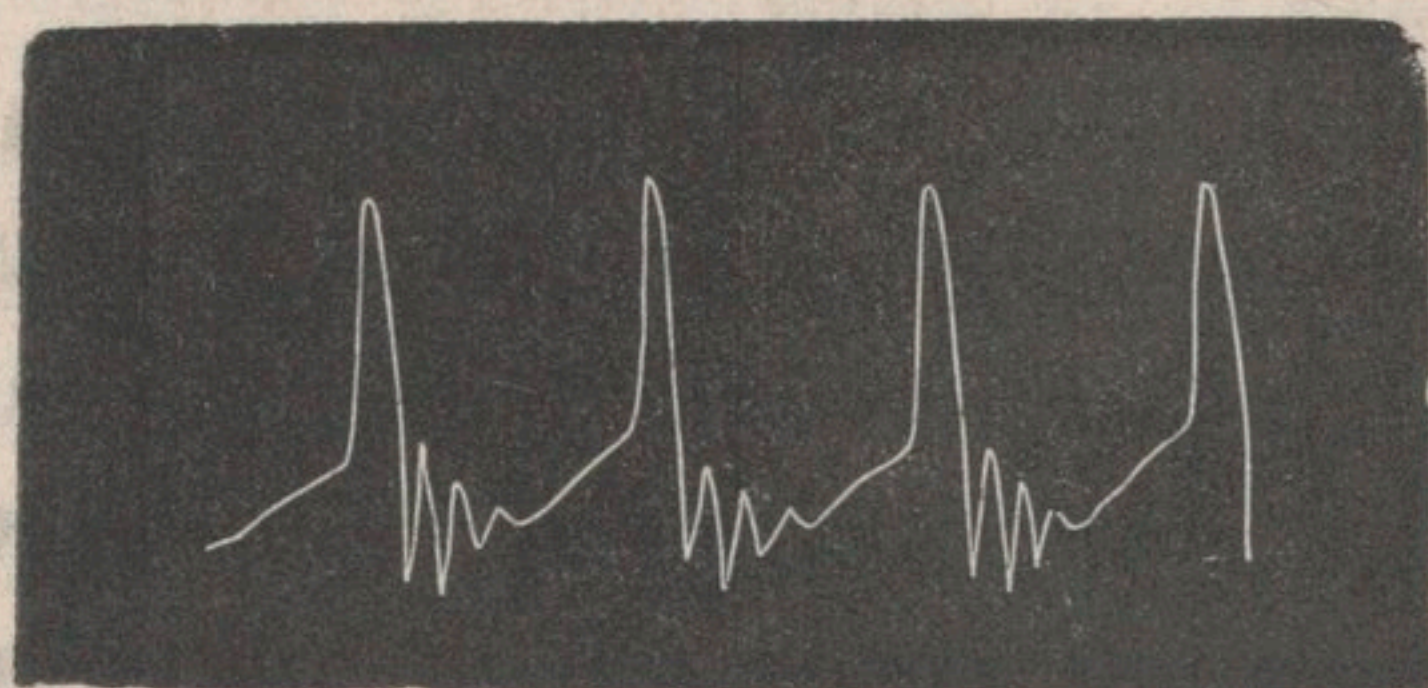
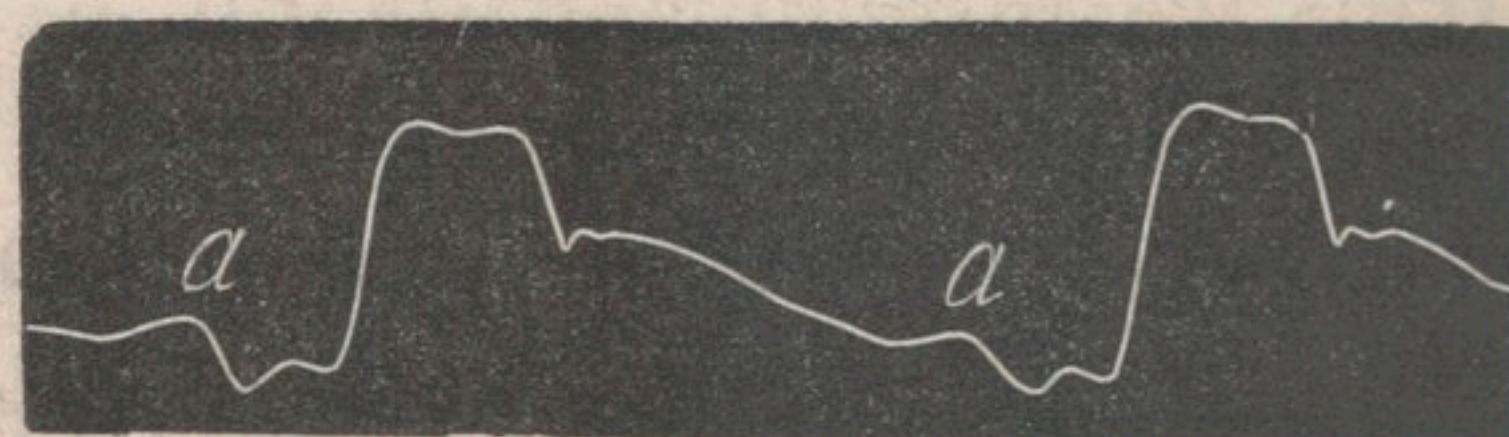
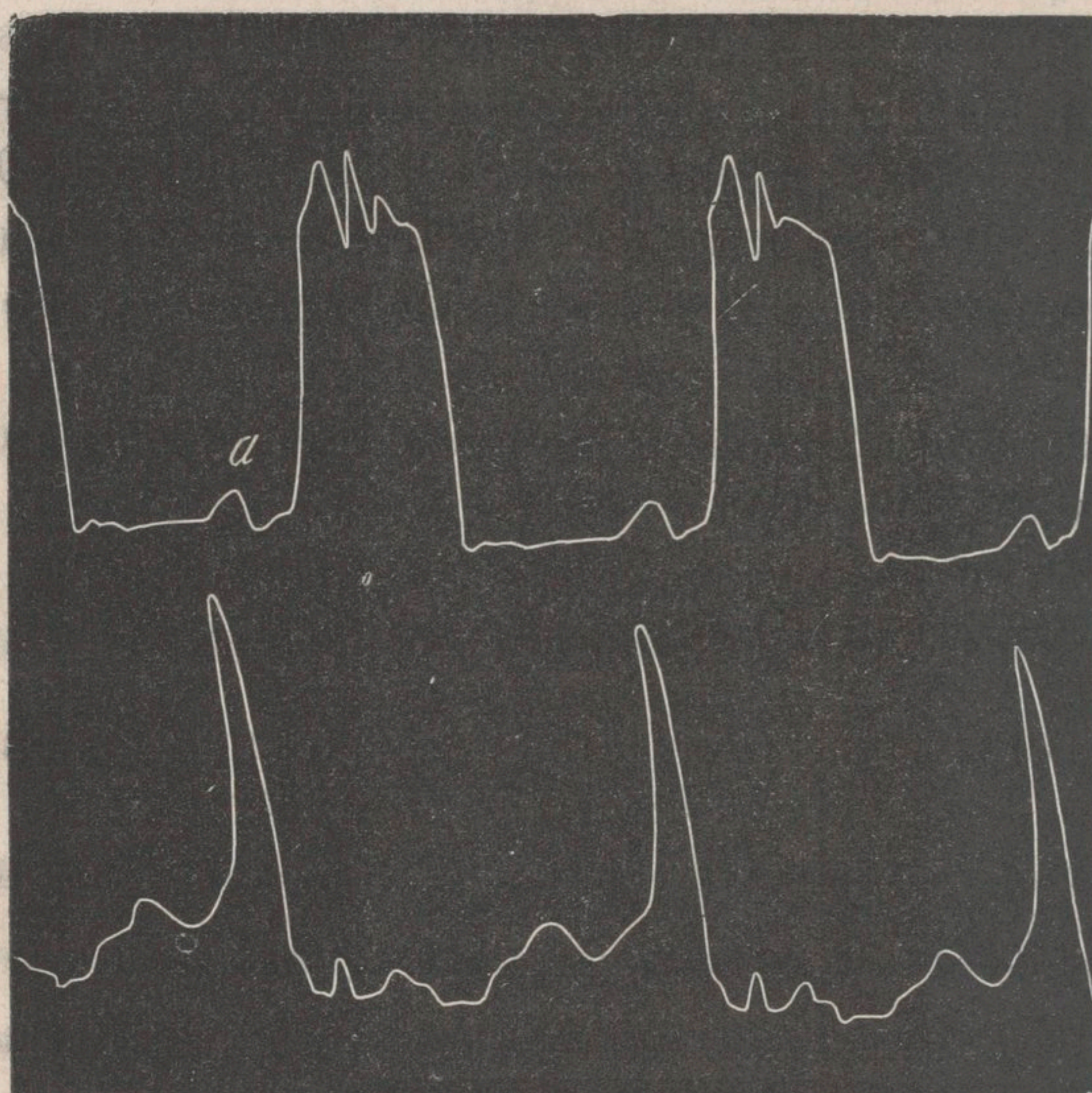


Fig. 11.



remarquer que, dans ce dernier, l'amplitude des ascensions systoliques de la courbe est plus grande que dans les autres tracés. Ces différences

Fig. 12 (2).



d'amplitude, qu'il n'est pas très-rare d'observer à l'état physiologique, indiquent que la *pulsation* auriculaire peut varier notablement en inten-

(1) Tracé obtenu avec une faible vitesse de l'enregistreur.

(2) Ce tracé a été obtenu avec un de nos premiers cardiographes, dont les leviers, trop courts, décrivaient, autour de leur centre de mouvement, des arcs trop accusés, ce qui nuit à la constatation des coïncidences.



sité. Il est bon de faire remarquer, dès maintenant, que ces variations n'indiquent pas nécessairement des variations équivalentes dans la force des *contractions* de l'oreillette. On verra, en effet, dans un autre travail, que certaines conditions peuvent augmenter, atténuer, éteindre même presque complètement la *pulsation* de l'oreillette, sans que la *force contractile* de cette cavité soit en rien modifiée.

Nous ne voulons pas, du reste, nous attacher à l'étude de ces variétés d'intensité de la pulsation auriculaire. Notre seul but en en parlant ici, c'est d'appeler l'attention sur un phénomène assez remarquable qui s'observe lorsque les pulsations de l'oreillette sont très-accentuées. Dans ce cas, en effet, l'influence de la pulsation auriculaire se fait sentir jusque dans le tracé de la pulsation artérielle. Qu'on jette les yeux sur la figure 11, on verra, dans le tracé carotidien que cette figure représente (1), une ondulation très-marquée (en *a*) coïncidant avec le moment de la pulsation de l'oreillette.

Il va sans dire que, dans ces cas, cette pulsation se manifeste aussi admirablement dans le tracé du ventricule. C'est ce qu'on peut constater sur la figure 12, où l'ondulation *a* de ce tracé est beaucoup plus élevée qu'on ne l'a vu dans les figures précédentes.

*Variétés d'énergie dans les contractions ventriculaires. — Influence sur le retard de la pulsation artérielle.*

Ce n'est pas seulement l'énergie de la pulsation auriculaire qui est sujette à variations. L'examen de nos divers tracés nous a démontré que le résultat de l'effort développé par les contractions ventriculaires présente aussi des différences, suivant les sujets, et suivant les conditions dans lesquelles ceux-ci se trouvent placés.

Pas plus que celles relatives à la contraction de l'oreillette, ces différences ne nous occuperont ici, sinon au point de vue d'un certain fait important, important surtout par les conséquences pratiques qu'il peut avoir.

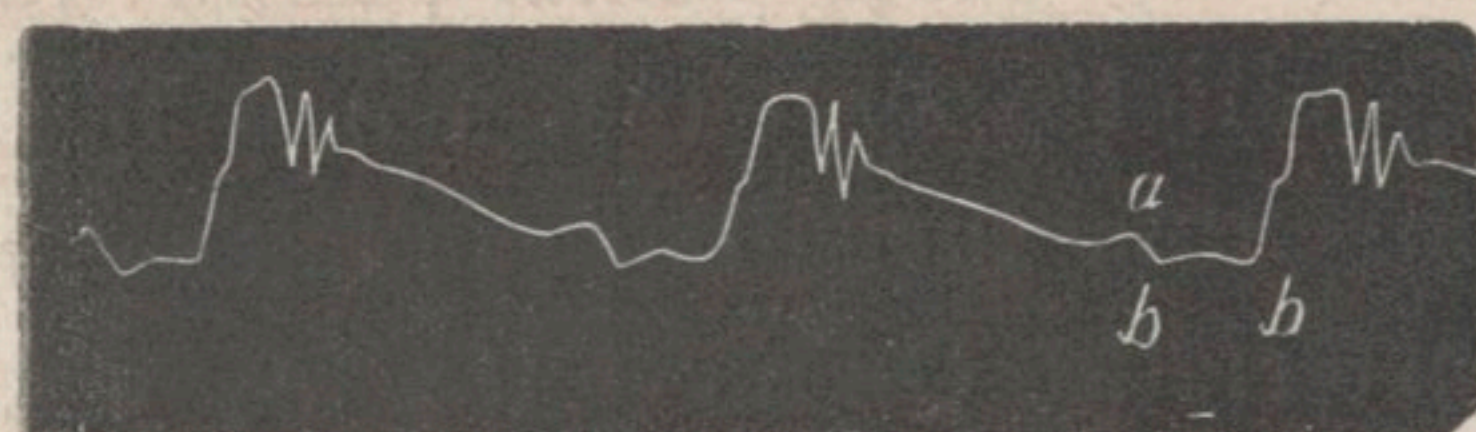
On vient de voir, dans le chapitre précédent, que la pulsation

(1) Nous devons faire observer que la forme de ce tracé représente à peu près exactement celle du tracé aortique.



aortique réelle ne débute pas en même temps que la systole ventriculaire, le sang ne pouvant entrer dans l'aorte qu'après avoir ouvert l'orifice aortique en soulevant les valvules sigmoïdes, et celles-ci ne pouvant être soulevées qu'au moment où la contraction ventriculaire développe une pression supérieure à la pression artérielle. Le retard qui en résulte pour le début de la pulsation aortique dépend donc, exclusivement, de la rapidité plus ou moins grande avec laquelle la contraction du ventricule atteint une force suffisante pour vaincre la

Fig. 13 (1).



pression qui s'exerce sur les valvules sigmoïdes. Si la systole débute avec vivacité, et arrive rapidement à son maximum, le retard de la pulsation aortique sera faible; il sera considé-

ra ble (fig. 13), si la systole débute mollement et n'atteint son maximum qu'avec une grande lenteur.

Personne ne méconnaîtra l'importance pratique de ce fait, au point de vue de la distinction des diverses sortes de souffles cardiaques systoliques.

Quand les valvules sigmoïdes ferment exactement l'orifice aortique, les bruits de souffles systoliques produits à cet orifice ne naissent jamais au moment même où le premier bruit du cœur se fait entendre. En effet, ce premier bruit, étant principalement produit par la tension des valvules auriculo-ventriculaires, coïncide toujours avec le début de la systole, puisque ces valvules se relèvent et se tendent dans les premiers instants de la contraction des ventricules. Or, l'entrée du sang dans l'aorte n'ayant lieu qu'un certain temps après le début de cette contraction, les souffles produits par cette pénétration de l'ondée sanguine ne peuvent être entendus qu'après le premier bruit normal. Ils diffèrent en cela des souffles systoliques produits, dans les cas d'insuffisance des valvules auriculo-ventriculaires, par le reflux du sang du ventricule dans l'oreillette. Ce reflux, ayant nécessairement

(1) Sur cette figure, le retard du début de la pulsation aortique sur le début de la systole ventriculaire est représenté par la distance qui sépare les points *b*, *b'*. L'effet de la contraction de l'oreillette est aussi très-manifeste dans ce tracé. L'ondulation auriculaire *a* se présente même ici avec des caractères qui laissent sur sa nature moins de doutes dans l'esprit que l'ondulation de la figure 11.



lieu dès le début de la systole ventriculaire, le murmure qu'il engendre naît à ce même moment.

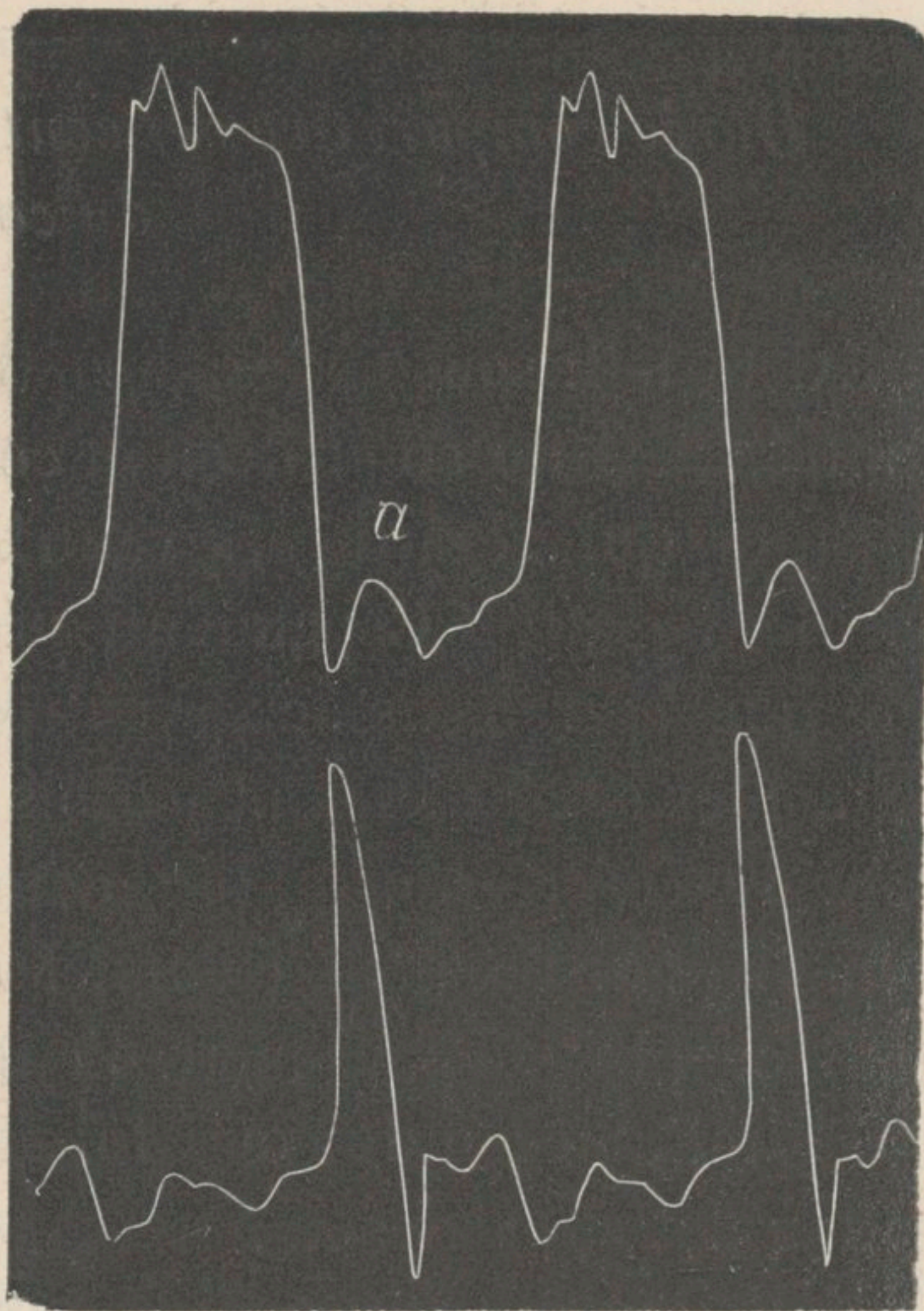
Dans la pratique, est-il possible de constater cette différence entre les deux sortes de souffles systoliques? Nous n'en doutons pas. Certes, les oreilles les mieux exercées auront souvent les plus grandes difficultés à établir cette distinction. Mais, dans les cas où la mollesse de la systole retarde beaucoup l'entrée de l'ondée dans l'aorte, cette distinction devient extrêmement facile. Nous avons pu nous en convaincre plusieurs fois sur l'homme et, surtout, sur le cheval (1).

*Variétés dans le rythme suivant lequel se succèdent les mouvements de l'oreillette et ceux du ventricule.*

Dans le tracé type, donné par notre première expérience (voy. fig. 6), le début de la systole auriculaire et celui de la systole du ventricule occupent, sur les courbes, la position résultant du rythme qui préside le plus habituellement à la succession des mouvements du cœur. Nous avons à faire observer ici que ce rythme peut varier beaucoup, principalement par suite de l'accélération ou du ralentissement des battements cardiaques.

L'effet de ce changement de vitesse porte surtout sur la période diastolique, qui augmente ou diminue de durée. Les systoles subissent bien des modifications dans le même sens, mais à un degré beaucoup moins prononcé. De cela, résultent nécessairement des changements importants dans la position relative des mouvements systoliques

Fig. 14 (2).



(1) Il est bon de remarquer que le retard du souffle systolique de l'aorte sur le premier bruit normal n'a plus lieu si les valvules sigmoïdes ne ferment pas exactement l'orifice aortique, et si la cavité cardiaque reste ainsi en communication permanente avec l'intérieur de l'arbre artériel.

(2) Courbe supérieure : tracé ventriculaire ; courbe inférieure : tracé auriculaire. C'est



auriculaires et ventriculaires sur les courbes graphiques. C'est ainsi que, dans le tracé représenté figure 14, tracé obtenu sur le même animal que celui de la figure 12, la contraction de l'oreillette (a) succède immédiatement à la diastole du ventricule. Le début de cette contraction se trouve ainsi plus rapproché de la pulsation ventriculaire précédente, que de celle qui appartient à la révolution cardiaque dont cette contraction auriculaire fait elle-même partie.

Ajoutons qu'à nombre égal de battements dans un temps donné, il peut se présenter de notables différences dans la longueur du temps qui sépare le début des systoles auriculaires du début des systoles ventriculaires. La distance intermédiaire est assez souvent plus longue que celle qui est marquée dans le tracé type de notre première expérience ; ce qui permet alors de constater beaucoup mieux la nullité du rôle de l'oreillette dans la production du choc cardiaque proprement dit.

*Durée comparative des contractions du cœur droit et de celles  
du cœur gauche.*

Existe-t-il, sous le rapport de la durée, des différences entre les contractions du cœur droit et celles du cœur gauche ?

En ce qui regarde les ventricules, nous croyons pouvoir répondre par la négative. Cependant, sur quelques tracés, nous avons remarqué que le relâchement ventriculaire et le claquement des valvules sigmoïdes se manifestent parfois un peu plus tôt dans le cœur droit que dans le cœur gauche, les moments des débuts de systole restant les mêmes pour les deux cœurs. Mais nous n'avons pas constaté assez souvent ce phénomène pour l'étudier convenablement, et nous assurer qu'il tient au jeu du cœur lui-même, et non pas à une mauvaise application des appareils.

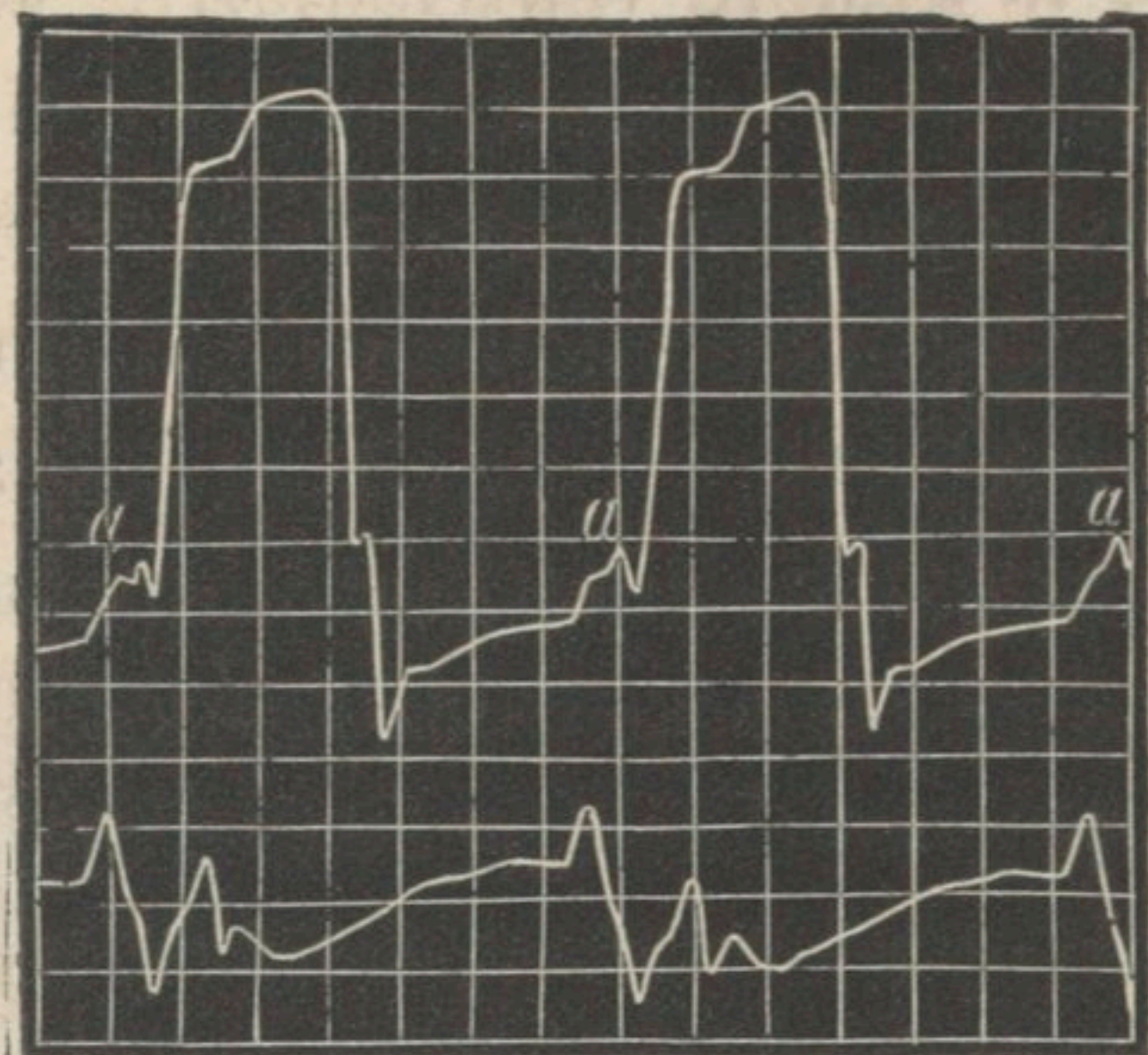
Mais il en est autrement pour la systole des deux oreillettes. Autant qu'on en peut juger, d'après l'examen du tracé du ventricule gauche, l'oreillette du même côté reste plus longtemps contractée que la

la section d'un pneumogastrique qui a ainsi modifié le rythme des battements du cœur. — L'enregistreur, au moment où l'on a pris ce tracé, avait peut-être un peu plus de vitesse qu'au moment où fut pris le tracé de la figure 12.



droite (fig. 15) ; et ce n'est pas là une différence passagère, mais un caractère constant, se manifestant dans toutes les circonstances. Généralement la contraction de l'oreillette droite est extrêmement fugace, et *paraît cesser* (2) assez longtemps avant le début de la systole ventriculaire. Quant à l'oreillette gauche, on peut voir, dans le tracé ci-contre, que la fin de la contraction est beaucoup plus rapprochée du début de la contraction du ventricule.

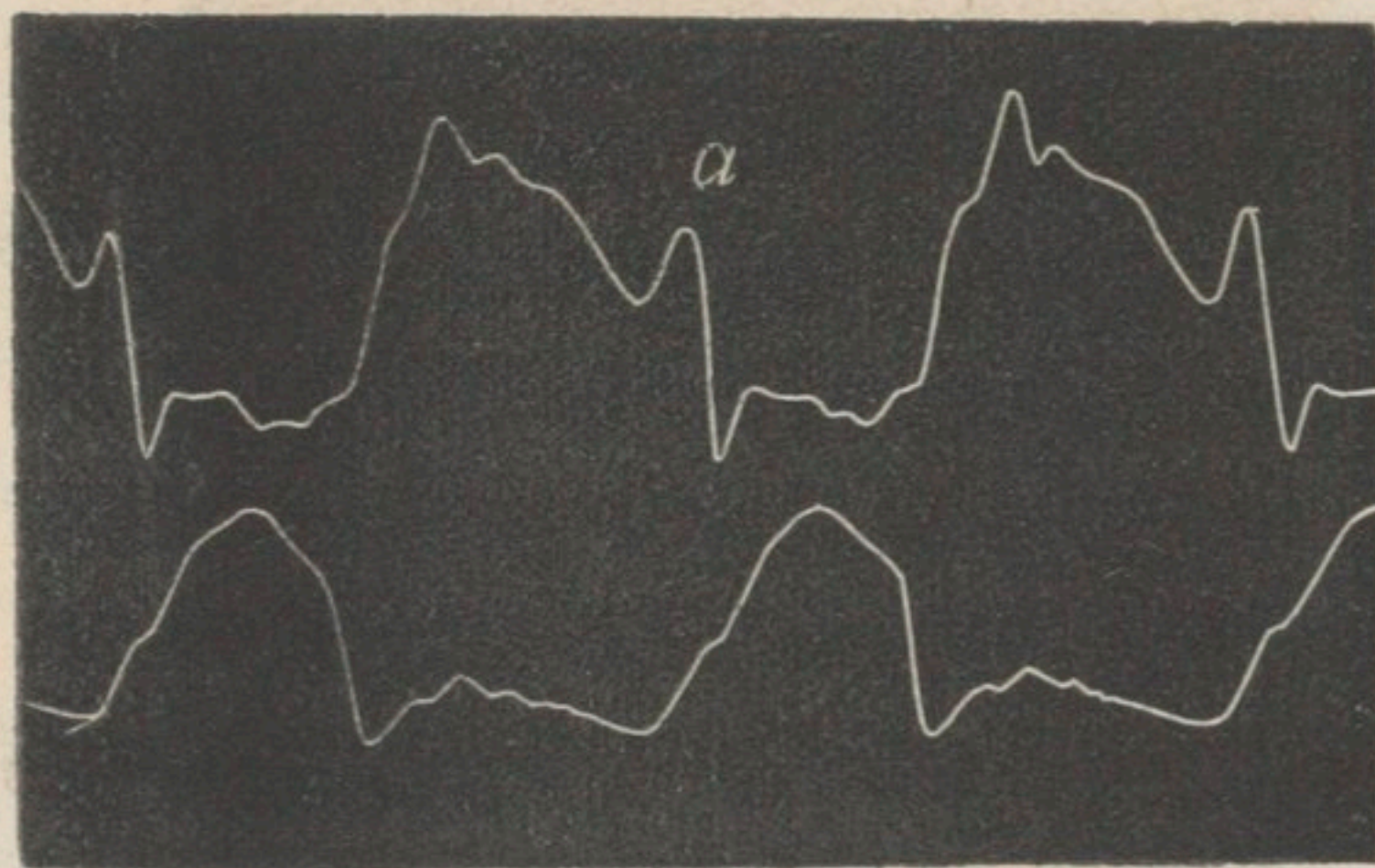
Fig. 15 (4).



*Influence de l'abaissement de la base des ventricules, pendant leur systole, sur la forme du tracé auriculaire.*

L'examen du cœur à nu, sur l'animal vivant, a démontré à l'un de nous (3) que la base des ventricules, du droit principalement, s'abaisse vers la pointe de l'organe pendant l'état systolique. La valvule tricuspide étant relevée à ce moment, et entraînée avec le ventricule, il en résulte que le plancher de la cavité auriculaire s'abaisse sensiblement ; ce qui tend à agrandir cette cavité.

Fig. 16 (4).



Les tracés cardiographiques démontrent que les choses se passent réellement ainsi. Il en est peu où l'on ne trouve au moins des traces de cet agrandissement. Le tracé qui est représenté fig. 16 en donne un bel

(1) Tracé supérieur : *ventricule gauche* ; tracé inférieur : *oreillette droite*. La contraction de l'oreillette gauche est marquée en *a* dans le tracé ventriculaire.

(2) Nous disons *paraît cesser*, parce que le phénomène d'aspiration présystolique, dont il sera question plus loin, s'oppose, au moins dans certains cas, à l'appréciation tout à fait exacte de cette durée de la contraction auriculaire.

(3) Chauveau et Faivre, *Gazette médicale de Paris*, 1856.

(4) Ligne supérieure : *oreillette* ; ligne inférieure : *ventricule*. Ceci est un tracé pathologique obtenu sur un animal qui avait une insuffisance des valvules aortiques. En dehors de la particularité qu'il est destiné à mettre à évidence, et qu'il présente à un degré si marqué, il offre d'autres caractères spéciaux dont le lecteur voudra bien ne pas tenir compte. L'attention devra se fixer exclusivement sur l'abaissement que subit la courbe auriculaire pendant que la courbe ventriculaire s'élève.



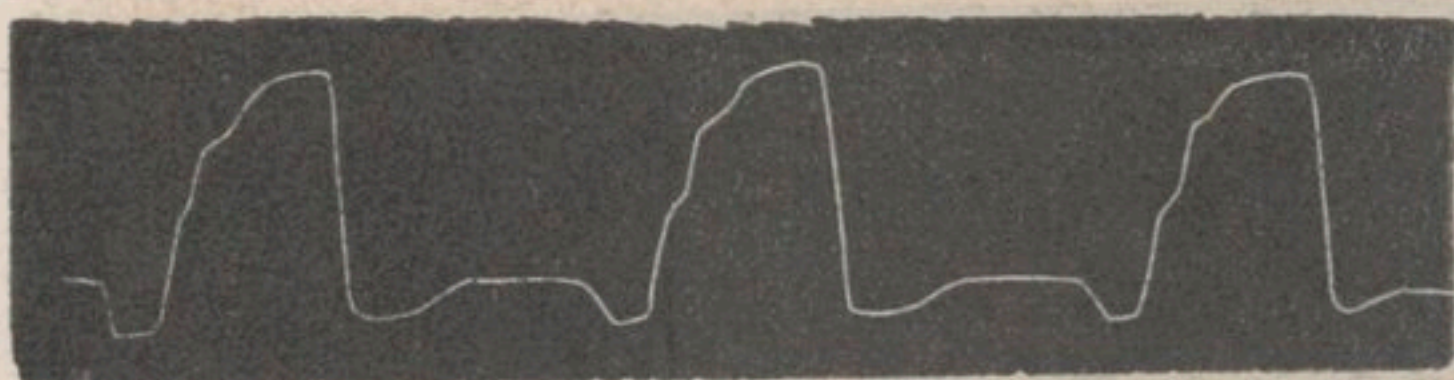
exemple. On y voit, en effet, la courbe auriculaire s'abaisser brusquement immédiatement après la petite élévation (*a*) produite par le début de la systole ventriculaire; et cet abaissement ne cesse qu'au moment où le relâchement ventriculaire est tout à fait accompli. Cependant le sang continue, pendant que cet abaissement se produit, à couler régulièrement des veines dans l'oreillette, et ce serait ainsi une élévation de la courbe que l'on devrait constater si la cavité auriculaire ne s'agrandissait pas par le mécanisme qui vient d'être indiqué.

*Aspirations présystoliques. — Faits. — Théorie.*

Le phénomène sur lequel nous allons maintenant appeler l'attention est un des plus remarquables et des plus importants qu'il nous ait été donné de constater. Faisons-le d'abord connaître sans nous préoccuper de sa théorie.

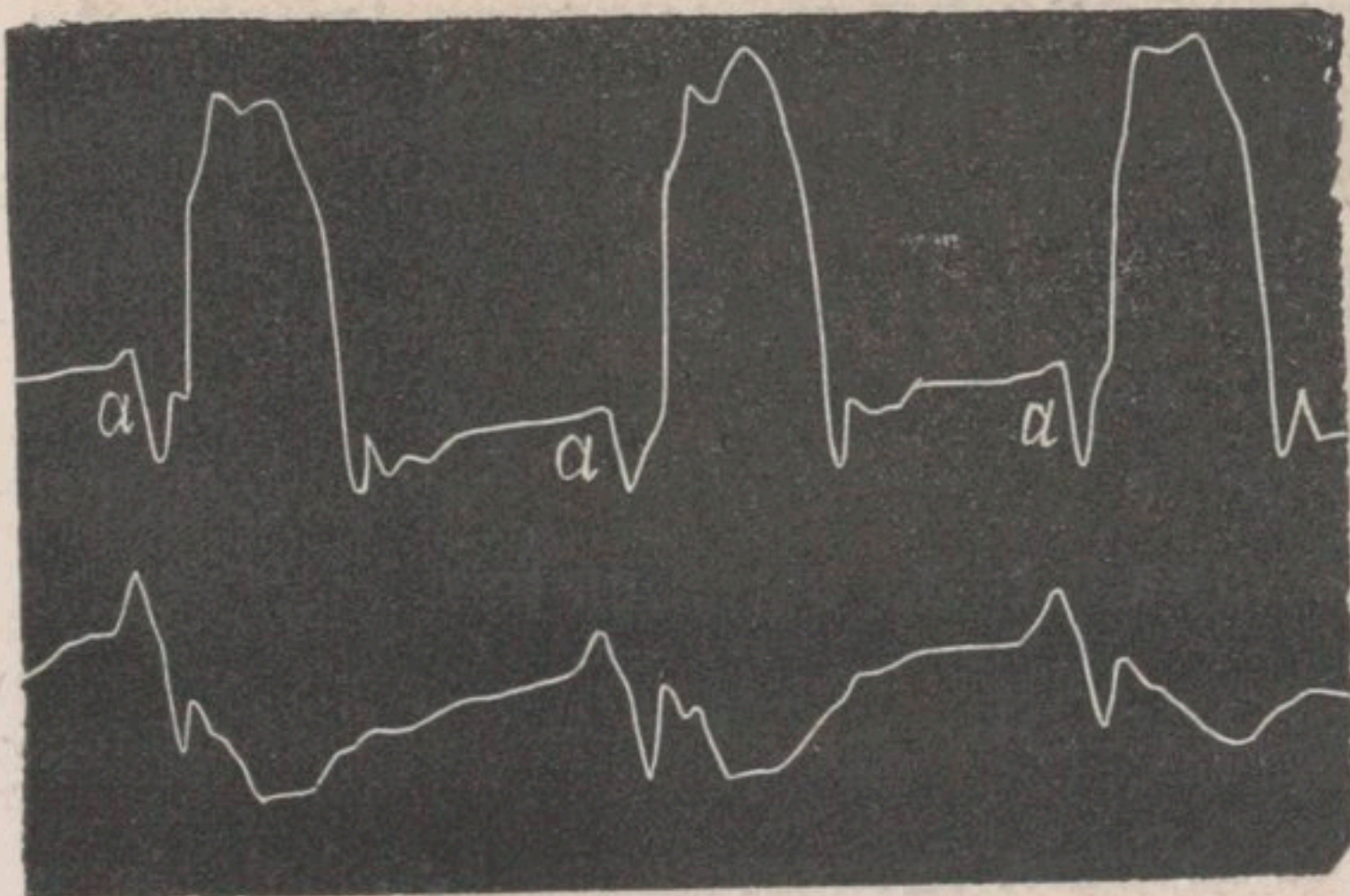
Dans un très-grand nombre de tracés du ventricule droit, la partie de la courbe qui répond à la réplétion diastolique est loin de présenter la simplicité qu'elle offre sur les tracés types de la première et de la deuxième expérience. Souvent, au lieu de s'élever graduellement jusqu'au début de la systole ventriculaire suivante, la courbe forme une espèce de plateau horizontal, comme on peut le voir figure 17.

Fig. 17.



Mais ce n'est pas là la modification la plus remarquable. Dans cette même figure et dans la suivante (fig. 18), on peut voir tout à fait à la fin de la période diastolique, entre la contraction de l'oreillette et le début de la systole ventriculaire, un brusque abaissement de la courbe (*a*), abaissement très-prononcé, dont l'existence paraît d'autant plus extraordinaire, qu'il survient dans un moment où, selon les données admises dans la science, le ventricule doit être à son plus haut degré de plénitude.

Fig. 18 (1).



(1) Ligne supérieure : tracé ventriculaire; ligne inférieure : tracé auriculaire.



L'examen de la figure précédente (fig. 18), où le tracé auriculaire est joint à la courbe ventriculaire, démontre que la pression du sang dans l'oreillette s'abaisse d'une manière concomitante pendant cet abaissement présystolique de la pression ventriculaire. Quelquefois même le mouvement de descente du levier auriculaire prend des proportions considérables, comme le démontre la figure ci-dessous (fig. 19).

Ajoutons qu'il n'est pas rare de rencontrer des tracés auriculaires où un abaissement semblable de la courbe se montre avant le moment de la contraction de l'oreillette (fig. 20).

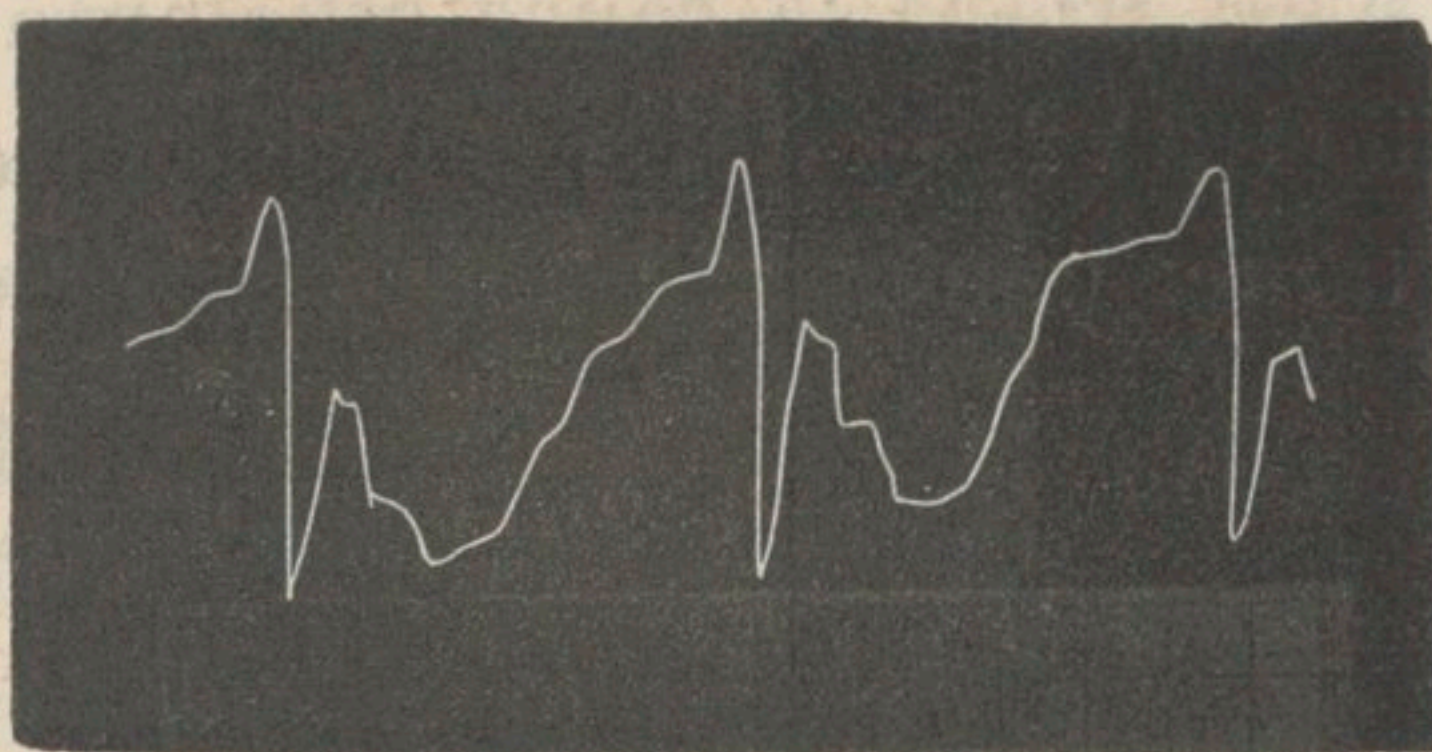


Fig. 20.

L'exemple donné par cette figure 20 démontre que cet abaissement présystolique de la courbe auriculaire est moins instantané que l'abaissement présystolique de la courbe ventriculaire.

Disons enfin que dans le tracé du ventricule gauche, on observe bien un semblable abaissement présystolique de la courbe, mais avec des caractères beaucoup moins prononcés. On pourrait même conserver des doutes sur la réalité de son existence, s'il ne se manifestait pas jusque dans le

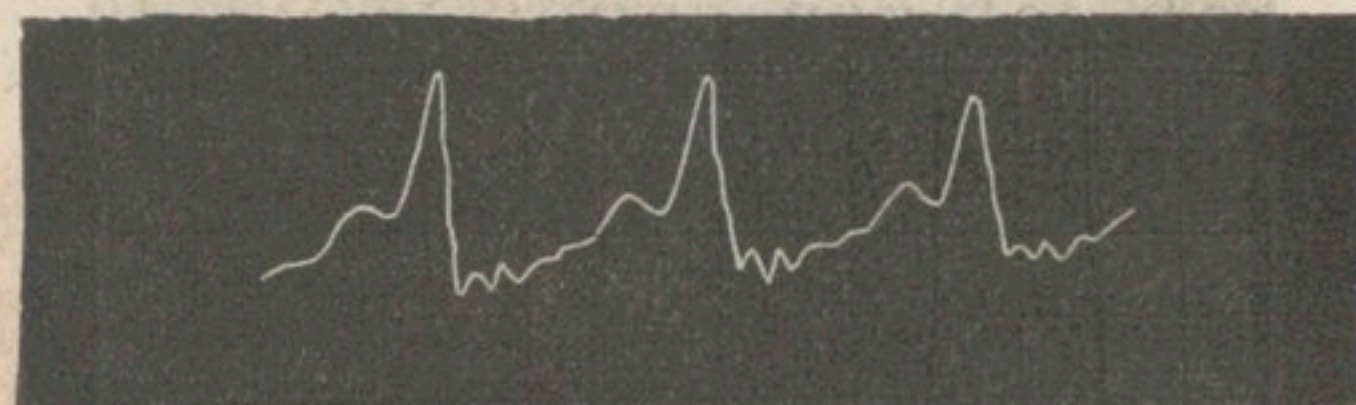
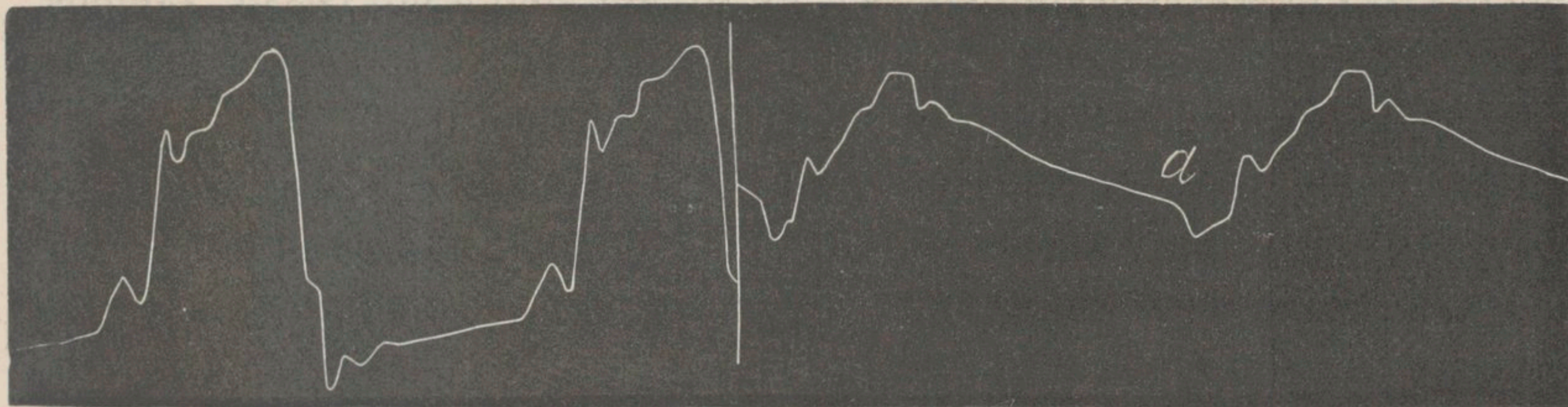


Fig. 21 (1)



tracé aortique, comme cela existe dans la figure 21 (deuxième partie du tracé, en *a*).

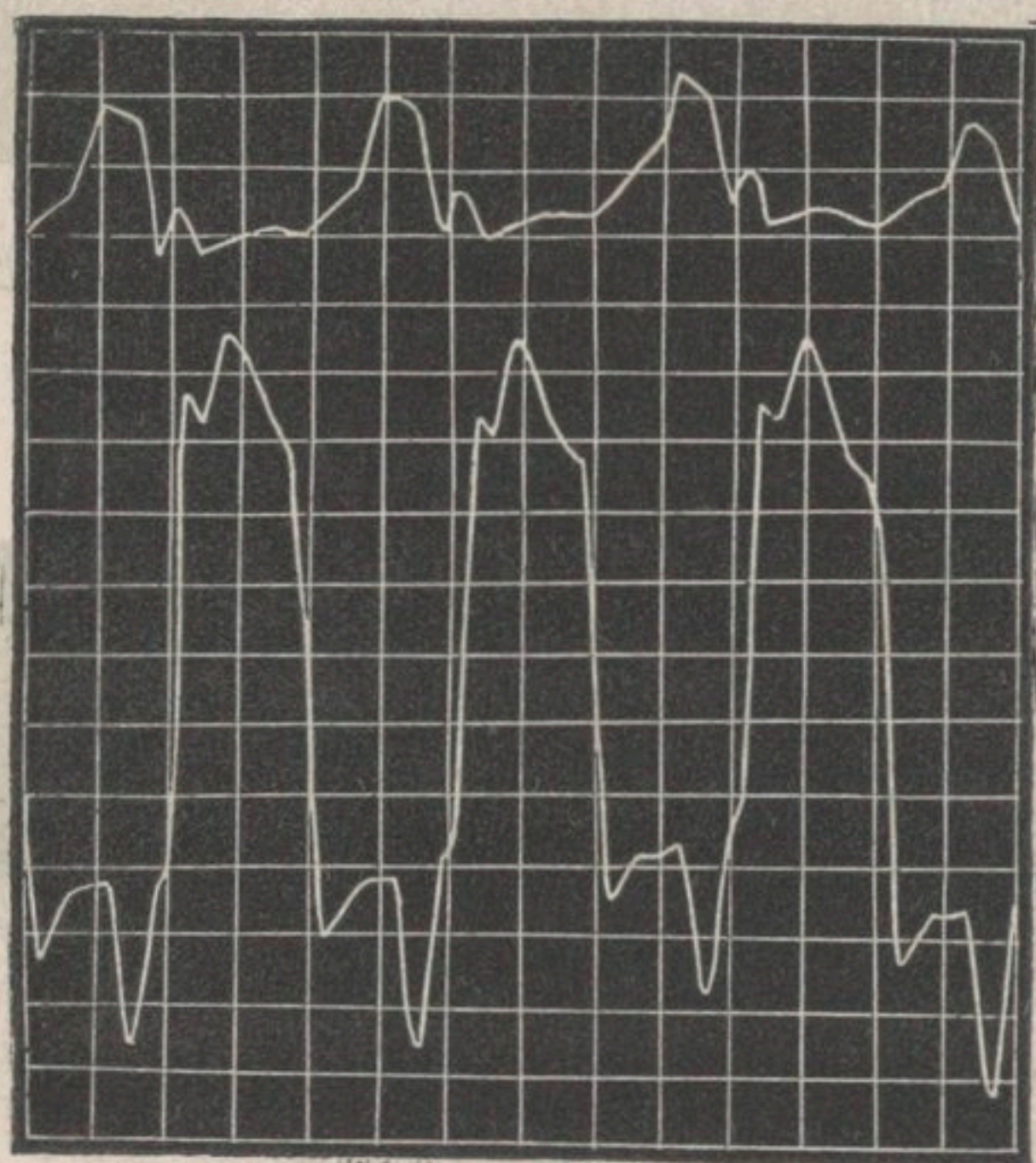
Quelle est la signification de cet abaissement présystolique de la pression dans les cavités du cœur? Au premier abord, nous avons cru

(1) Première partie du tracé: ventricule gauche; deuxième partie: pulsation aortique obtenue en retirant dans l'aorte l'ampoule du ventricule gauche.



qu'il était dû exclusivement au relâchement des parois de l'oreillette après leur contraction : celle-ci faisant refluer une partie du sang de l'oreillette dans les veines, il en peut résulter, dans le premier moment du relâchement des parois auriculaires, un affaiblissement de la charge du sang qui presse sur l'ampoule ventriculaire. Que cette cause agisse réellement, c'est incontestable ; le raisonnement démontre qu'il n'en peut être autrement. Mais l'examen de certains tracés prouve que ce n'est pas là la cause efficiente principale. Sur celui qui est représenté figure 22, et qui a été obtenu chez un animal auquel on venait de pratiquer une insuffisance des valvules aortiques (1), on peut voir, en effet,

Fig. 22.



que l'abaissement présystolique de la pression dans le tracé ventriculaire débute pendant la durée même de la contraction de l'oreillette. — D'un autre côté, cette explication ne saurait s'appliquer à l'abaissement de pression qui précède la contraction de l'oreillette. Il faut donc chercher ailleurs la cause de ce singulier phénomène.

Jusqu'ici (et nous avons suivi en cela les errements de tous les physiologistes actuels) nous avons considéré le cœur, en

dehors de l'état systolique, comme un organe tout à fait passif, ramené uniformément au même état de relâchement par la cessation des contractions. Mais cette passivité du cœur en repos existe-t-elle en réalité ? Le cœur, au moment de sa diastole, est-il effectivement dans la résolution absolue que les muscles présentent immédiatement après la mort ? Les parois des cavités cardiaques ne possèdent-elles pas, comme tous les tissus musculaires, une tonicité propre, qui, pendant la vie, au moment de la période diastolique, maintient ces cavités plus resserrées qu'elles ne le seraient sur l'animal mort ? Cette tonicité ne serait-elle pas capable d'éprouver des variations plus ou moins étendues, rythmiques comme les contractions elles-mêmes ? Ces variations ne pourraient-elles pas

(1) L'insuffisance des valvules aortiques accentue davantage l'aspiration présystolique aussi bien dans le cœur gauche que dans le cœur droit. Elle fait toujours naître cette aspiration quand celle-ci ne préexiste pas au moment où l'insuffisance est pratiquée.



jouer un rôle important dans le mécanisme de la pompe cardiaque?

Ces questions font assez prévoir à quelles causes nous sommes tenté d'attribuer les oscillations négatives de la pression indiquées, dans les cavités du cœur, pendant la période diastolique, par l'examen des tracés cardiaques. Pour nous, ce sont de véritables aspirations qui se produisent de la manière suivante : le relâchement du tissu musculaire du cœur devient plus prononcé à certains moments. L'effet aspirateur de l'élasticité des poumons s'exerce alors avec plus d'intensité sur les cavités du cœur. Celles-ci s'agrandissent ainsi d'une quantité plus ou moins grande ; d'où abaissement de la pression intra-cardiaque et chute des courbes cardiographiques.

B. — DES VARIÉTÉS DÉPENDANT DES INFLUENCES RESPIRATOIRES.

Ce sujet présente un si grand intérêt, que nous nous proposons de lui consacrer un travail spécial. Un seul point relatif à ce sujet nous occupera ici. C'est le suivant.

*Forme des tracés quand les influences respiratoires sont abolies par l'ouverture de la poitrine.*

Il était intéressant de comparer la forme des tracés cardiaques pris, d'une part, sur un animal à l'état physiologique, d'autre part, sur le même animal disposé pour l'examen direct du jeu du cœur, par la section de la moelle épinière, la respiration artificielle et l'ouverture de la poitrine. C'est une comparaison que nous tenions à faire pour nous assurer de la manière dont le cœur fonctionne, lorsqu'il ne bat plus sous la pression de son milieu habituel. Nous y tenions encore, et surtout, pour voir si les mutilations que nécessite la mise à nu du cœur, chez un grand mammifère comme le cheval, ne troublent pas le jeu de cet organe, au point de rendre de pareilles expériences illusoire pour l'étude de la vraie physiologie du cœur.

On comprendra l'intérêt de cette recherche en considérant que c'est au moyen de ces expériences seulement qu'il est possible de s'éclairer sur un grand nombre de points intéressants, comme les changements de forme du cœur, ses mouvements de locomotion, le jeu des valvules et les phénomènes acoustiques qui en résultent, la production artificielle des bruits anormaux, etc., etc.



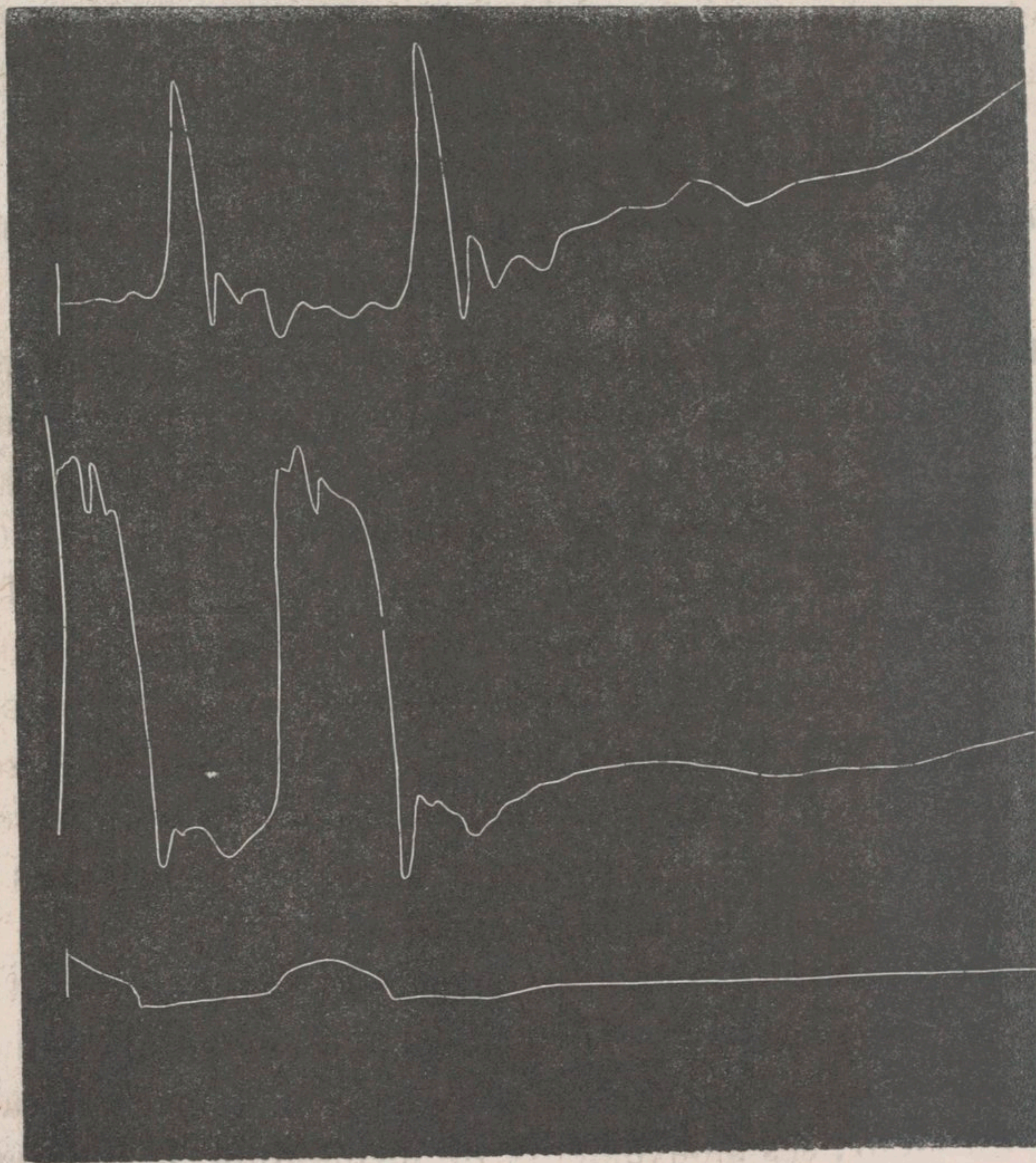
Cette recherche importait particulièrement à l'un de nous, qui, depuis 1855, s'est voué à la vulgarisation de ces expériences.

Or, les moyens cardiographiques, appliqués à cette recherche, nous ont démontré péremptoirement que les battements du cœur conservent réellement, lorsque l'organe est mis à nu, tous les caractères *essentiels* qu'ils présentent à l'état physiologique. Nous regrettons que les dimensions considérables des tracés où cette preuve est donnée nous empêchent de reproduire ici ces tracés.

C. — DES VARIÉTÉS RELATIVES A LA PULSATION CARDIAQUE EXTÉRIEURE.

La forme et l'énergie de la pulsation cardiaque extérieure présentent d'assez nombreuses variétés qu'il serait certainement très-intéressant

Fig. 23.



d'étudier ici, si le cadre restreint de notre travail ne nous forçait à écarter cette étude.



Nous aurions désiré mettre sous les yeux de nos lecteurs de magnifiques spécimens de tracés, où l'identité des caractères de la courbe ventriculaire et de la courbe de la pulsation se manifeste avec plus de netteté encore que dans les tracés de notre première expérience. Nous aurions voulu aussi exposer plusieurs exemples de la pulsation négative, dont nous avons dit un mot à propos de la théorie du choc précordial.

Mais nous devons nous borner à appeler l'attention sur le tracé de la figure 23, obtenu sur un cheval au moment où l'on arrêta les battements du cœur par la galvanisation des pneumogastriques. L'arrêt des battements s'est produit immédiatement après une contraction de l'oreillette. Or, malgré la persistance de cette contraction auriculaire, la révolution cardiaque à laquelle appartient cette contraction ne présente aucune trace de la pulsation externe; en effet, la courbe de cette pulsation n'offre pas la moindre ondulation au point correspondant. Ce fait, à lui seul, est parfaitement propre à démontrer que l'oreillette ne joue aucun rôle dans la production du choc cardiaque.

---